



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 100 32 426 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**H 01 Q 3/26**  
H 04 Q 7/38  
H 04 Q 7/30  
H 04 B 7/005  
H 04 B 7/204

②1 Aktenzeichen: 100 32 426.6  
②2 Anmeldetag: 4. 7. 2000  
④3 Offenlegungstag: 17. 1. 2002

DE 100 32 426 A 1

⑦1 Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Brunner, Christopher, 54516 Wittlich, DE; Raaf,  
Bernhard, 81475 München, DE; Seeger, Alexander,  
85622 Feldkirchen, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 198 03 188 A1  
US 6 34 199  
EP 08 99 896 A1  
WO 98 43 106 A2

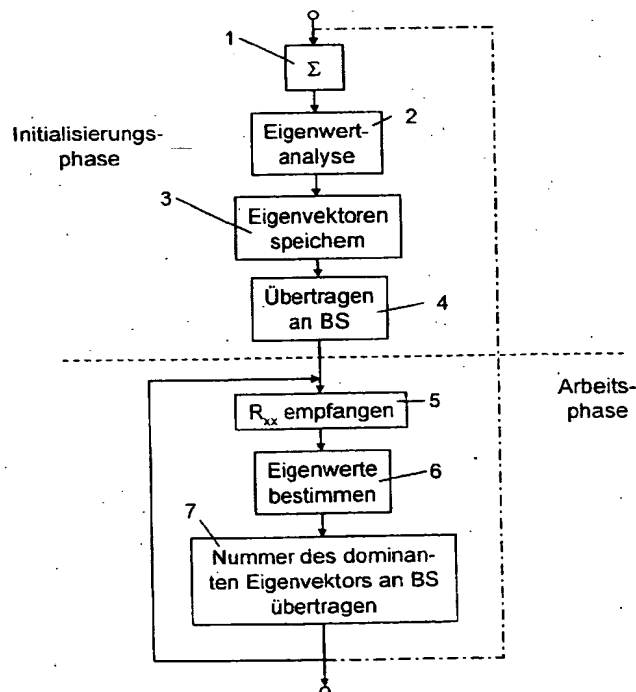
PAULRAJ, A.J. et al.: Space-Time Processing for  
Wireless Communications. In: IEEE Signal Pro-  
cessing Magazin, Nov. 1997, S. 49-83;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab  
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 **Strahlformungsverfahren**

⑤7 Zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem mit Teilnehmerstationen und einer Basisstation (BS), die eine Antenneneinrichtung mit mehreren Antennenelementen aufweist, die ein Downlink-Signal jeweils gewichtet mit Koeffizienten eines Gewichtungsvektors abstrahlen, wird in einer Initialisierungsphase eine Mehrzahl von Gewichtungsvektoren an der Teilnehmerstation ermittelt (2), und die ermittelten Gewichtungsvektoren werden an die Basisstation übertragen (4). In einer darauffolgenden Arbeitsphase wählt die Teilnehmerstation unter den ermittelten Gewichtsvektoren einen dominierenden aus (6) und überträgt eine Bezeichnung des ausgewählten Gewichtsvektors an die Basisstation (7).



DE 100 32 426 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem mit einer Basisstation, deren zugeordnete Antenneneinrichtung mehrere Antennenelemente aufweist, so daß eine räumliche Auflösung bei der Strahlformung möglich ist.

[0002] In Funk-Kommunikationssystemen werden Nachrichten (Sprache, Bildinformation oder andere Daten) über Übertragungskanäle mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen (Funkschnittstelle) übertragen. Die Übertragung erfolgt sowohl in Abwärtsrichtung (downlink) von der Basisstation zu der Teilnehmerstation, als auch in Aufwärtsrichtung (uplink) von der Teilnehmerstation zur Basisstation.

[0003] Signale, die mit den elektromagnetischen Wellen übertragen werden, unterliegen bei ihrer Ausbreitung in einem Ausbreitungsmedium u. a. Störungen durch Interferenzen. Störungen durch Rauschen können u. a. durch Rauschen der Eingangsstufe des Empfängers entstehen. Durch Beugungen und Reflexionen durchlaufen Signalkomponenten verschiedene Ausbreitungswege. Dies hat zum einen die Folge, daß ein Signal mehrfach, jeweils aus unterschiedlichen Richtungen, mit unterschiedlichen Verzögerungen, Dämpfungen und Phasenlagen, am Empfänger ankommen kann, und zum anderen können sich Beiträge des Empfangssignals kohärent mit wechselnden Phasenbeziehungen beim Empfänger überlagern und dort zu Auslöschungseffekten auf einem kurzfristigen Zeitmaßstab (fast fading) führen.

[0004] Aus DE 197 12 549 A1 ist bekannt, intelligente Antennen (smart antennas), d. h. Antennenanordnungen mit mehreren Antennenelementen, zu nutzen, um die Übertragungskapazität in Aufwärtsrichtung zu erhöhen. Diese ermöglichen eine gezielte Ausrichtung des Antennengains in eine Richtung, aus der das Aufwärtssignal kommt.

[0005] Aus A. J. Paulraj, C. B. Papadias, "Space-time processing for wireless communications", IEEE Signal Processing Magazine, Nov. 1997, S. 49-83, sind verschiedene Verfahren zur räumlichen Signaltrennung für Auf- und Abwärtsrichtung bekannt.

[0006] Für die Abwärtsrichtung, also von Basisstation zur Teilnehmerstation, treten besondere Schwierigkeiten auf, da die Strahlformung vor der Beeinflussung der übertragenen Signale durch den Funkkanal vorzunehmen ist. Aus R. Schmalenberger, J. J. Blanz, "A comparison of two different algorithms for multi antenna C/I balancing", Proc. 2<sup>nd</sup> European Personal Mobile Communications Conference (EPMCC), Bonn, Germany, Sept. 1997, S. 483-490, ist ein Algorithmus der Strahlformung in Abwärtsrichtung bekannt, wobei ein direkter Ausbreitungspfad (Sichtverbindung) zwischen den Basisstationen und den Teilnehmerstationen und eine iterative Berechnung von Strahlformungsvektoren vorausgesetzt wird. Mit jeder Änderung der Eigenschaften des Übertragungskanals muß die gesamte aufwendige iterative Berechnung wiederholt werden.

[0007] Aus DE 198 03 188 A ist ein Verfahren bekannt, wobei eine räumliche Kovarianzmatrix für eine Verbindung von einer Basisstation zu einer Teilnehmerstation bestimmt wird. In der Basisstation wird ein Eigenvektor aus der Kovarianzmatrix berechnet und für die Verbindung als ein Strahlformungsvektor verwendet. Die Sendesignale für die Verbindung werden mit dem Strahlformungsvektor gewichtet und Antennenelementen zur Abstrahlung zugeführt. Intra-zell-Interferenzen werden aufgrund der Verwendung von Joint-Detection, beispielsweise in den Endgeräten, in die Strahlformung nicht einbezogen und eine Verfälschung der empfangenen Signale durch Interzell-Interferenzen wird vernachlässigt.

[0008] Anschaulich gesprochen ermittelt dieses Verfahren

in einer Umgebung mit Mehrwegausbreitung einen Ausbreitungsweg mit guten Übertragungseigenschaften und konzentriert die Sendeleistung der Basisstation räumlich auf diesen Ausbreitungsweg. Dadurch kann jedoch nicht verhindert werden, daß Interferenzen auf diesem Übertragungsweg kurzfristig zu Signalauslöschungen und somit zu Unterbrechungen der Übertragung führen können.

[0009] Die Empfehlungen des 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project, <http://www.3gpp.org>) sehen deshalb Verfahren vor, bei denen die Teilnehmerstation eine kurzfristige Kanalimpulsantwort  $h_m$  des Kanals vom  $m$ -ten Antennenelement zur Teilnehmerstation schätzt und Gewichtungsfaktoren  $w_m$  berechnet, mit denen das Sendesignal vor Abstrahlung durch das  $m$ -te Antennenelement gewichtet werden soll. Entsprechende Konzepte sind auch in M. Raitola, A. Hottinen und R. Wichmann, "Transmission diversity in wideband CDMA", erschienen in Proc. 49<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conf. Spring (VTC '99 Spring), S. 1545-1549, Houston, Texas 1999, behandelt.

[0010] Ein schwerwiegendes Problem dieser Vorgehensweise ist, daß der von der Teilnehmerstation abgeschätzte Vektor der Gewichtungsfaktoren an die Basisstation übertragen werden muß, und daß hierfür gemäß den Empfehlungen des 3GPP nur eine geringe Bandbreite von einem Bit pro Zeitschlitz (slot) zur Verfügung steht. Die Vektoren können daher nur grob quantisiert übertragen werden. Wenn sich der Kanal schnell ändert und die Gewichtungen von einem Zeitschlitz zum anderen aktualisiert werden müssen, sind lediglich zwei verschiedene relative Phasenlagen der Antennenelemente einstellbar. Wenn der Kanal sich langsamer ändert und z. B. vier Zeitschlitze zum Übertragen des Vektors zur Verfügung stehen, sind immerhin 16 verschiedene Werte des Vektors darstellbar.

[0011] Die bekannten Konzepte stoßen jedoch an ihre Grenzen, wenn die Zahl der Antennenelemente der Basisstation größer als zwei ist, denn die zum Übertragen des Vektors benötigte Bandbreite nimmt mit dessen Komponentenzahl, d. h. mit der Zahl der Antennenelemente zu. Das bedeutet: eine große Zahl von Antennenelementen wäre zwar einerseits wünschenswert, um den Sendestrahle möglichst genau ausrichten zu können, andererseits kann infolge der begrenzten verfügbaren Bandbreite der Gewichtungsvektor nicht so oft aktualisiert werden, wie dies zur Anpassung an das schnelle Fading erforderlich wäre.

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Strahlformung anzugeben, das eine zuverlässigere Formung des Downlink-Strahls erlaubt.

[0013] Diese Aufgabe wird durch das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Datenübertragung wird in einem Funk-Kommunikationssystem mit einer Basisstation und Teilnehmerstationen eingesetzt. Die Teilnehmerstationen sind beispielsweise Mobilstationen, so in einem Mobilfunknetz, oder Feststationen, so in sogenannten Teilnehmerzugangs-Netzen zum drahtlosen Teilnehmeranschluß. Die Basisstation weist eine Antenneneinrichtung (smart antenna) mit mehreren Antennenelementen auf. Die Antennenelemente ermöglichen einen gerichteten Empfang bzw. eine gerichtete Sendung von Daten über die Funkschnittstelle.

[0015] Das erfindungsgemäße Verfahren unterscheidet zwischen einer Initialisierungsphase, die jeweils in größeren Zeitabständen entsprechend einer großen Zahl von Zeitschlitzen der betreffenden Teilnehmerstation durchgeführt wird, und einer Arbeitsphase, deren Schritte häufiger, z. B. bis zu einmal pro Zeitschlitz, durchgeführt werden. In der

Initialisierungsphase wird eine Mehrzahl von sogenannten ersten Gewichtungsvektoren ermittelt, die in einer anschließenden Arbeitsphase des Funk-Kommunikationssystems herangezogen werden, um einen tatsächlich für die Strahlformung verwendeten aktuellen Gewichtungsvektor jeweils für jeden Zyklus der Arbeitsphase neu festzulegen. Der mit der Ermittlung der Gewichtungsvektoren verbundene Verarbeitungsaufwand fällt daher nur relativ selten, in den Initialisierungsphasen, an; die Festlegung des aktuellen Gewichtungsvektors, die z. B. lediglich eine Auswahl oder das Bilden einer Linearkombination der ersten Gewichtungsvektoren erfordert, kann hingegen so häufig ausgeführt werden, wie erforderlich, um durch schnelles Fading verursachte Übertragungsunterbrechungen zu kompensieren.

[0016] Wenn hier von Initialisierungsphase und Arbeitsphase gesprochen wird, so darf dies nicht dahingehend verstanden werden, daß man es hier mit zwei zeitlich getrennten, nacheinander ablaufenden Vorgängen zu tun hätte. Es handelt sich vielmehr um zwei Teilprozesse des Verfahrens, die fortlaufend und zeitlich verschränkt ablaufen können. Zwar werden in der Arbeitsphase die Ergebnisse der Initialisierungsphase genutzt, doch laufen die Vorgänge der Initialisierungsphase zweckmäßigerweise gleichzeitig mit denen der Arbeitsphase, damit der Arbeitsphase fortlaufend aktualisierte Werte der ersten Gewichtungsvektoren zur Verfügung stehen.

[0017] In Anbetracht dessen, daß die Gewichtungsvektoren sich während des Bestehens einer Gesprächsverbindung zwischen Teilnehmerstation und Basisstation nur langsam oder gar nicht ändern, und daß die Kompensation von schnellem Fading durch Umschalten oder wechselndes Gewichten von Gewichtungsvektoren an der Basisstation in kurzen Zeitabständen erfolgen soll, kann die in der Initialisierungsphase an die Basisstation übertragene Information über die Komponenten der Gewichtungsvektoren auch als Langzeit-Rückkopplungsinformation und die in der Arbeitsphase übertragene als Kurzzeit-Rückkopplungsinformation bezeichnet werden.

[0018] In einem zeitlich frühen Stadium des Verfahrens, bevor die Initialisierungsphase erstmalig durchgeführt worden ist, könnte streng genommen die Arbeitsphase nicht ablaufen und es könnten somit noch keine Daten zwischen Endgerät und Basisstation ausgetauscht werden. In dieser Situation kann man sich behelfen, indem man die Arbeitsphase zunächst unter Zugrundelegung von willkürlich vorgegebenen Werten der ersten Gewichtungsvektoren ausführt.

[0019] Der Einfachheit halber können als vorgegebene Gewichtungsvektoren solche Vektoren angenommen werden, die abgesehen von einer nichtverschwindenden Komponente, vorzugsweise mit dem Wert 1, nur Komponenten mit Wert 0 haben.

[0020] Eine erste bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Downlink-Übertragung ermittelt werden. Diese Vorgehensweise ist insbesondere zweckmäßig bei Funk-Kommunikationssystemen, die unterschiedliche Frequenzen für Uplink und Downlink verwenden, denn bei solchen Funk-Kommunikationssystemen ist der schnelle Signalschwund (fast fading) auf den unterschiedlichen Frequenzen nicht korreliert. Darüber hinaus müssen Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens, die sowohl für die Ermittlung der ersten Gewichtungsvektoren in der Initialisierungsphase als auch für die Neufestlegung der aktuellen Gewichtungsvektoren in der Arbeitsphase ausgeführt werden, somit nur an der Teilnehmerstation ausgeführt werden. So wird doppelter Verarbeitungsaufwand vermieden, und auch Schaltungskomponenten für die Durchführung der Verfah-

rensschritte müssen nur einmal, an der Teilnehmerstation, vorgesehen werden.

[0021] Dabei werden zweckmäßigerweise in der Initialisierungsphase die an der Teilnehmerstation ermittelten ersten Gewichtungsvektoren an die Basisstation übertragen, und in der Arbeitsphase erfolgt die Neufestlegung des aktuellen Gewichtungsvektors dadurch, daß die Teilnehmerstation unter den ermittelten ersten Gewichtungsvektoren einen dominierenden auswählt und eine Bezeichnung des ausgewählten dominierenden Gewichtungsvektors an die Basisstation überträgt. Da diese Übertragung nicht in jedem einzelnen Zeitschlitz der Teilnehmerstation stattfinden muß, kann ihr zeitweilig ein eigener Kanal zugeordnet werden, oder in einzelnen Zeitschlitzen kann die Übertragung von Nutzdaten wie Sprache von der Teilnehmerstation zur Basisstation unterbrochen oder eingeschränkt werden, um Übertragungsbandbreite für die Übertragung der Gewichtungsvektoren zu schaffen. Diese Gewichtungsvektoren können so mit einer wesentlich höheren Auflösung übertragen werden, als dies bei den herkömmlichen Verfahren mit der Übertragungsbandbreite von einem Bit pro Zeitschlitz möglich ist. Alternativ kann die Übertragung der Gewichtungsvektoren auch im Zeitmultiplex mit den Bezeichnungen stattfinden. Dabei wird vorzugsweise das Verhältnis der Zahl der Zeitschlitze, in denen Bezeichnungen der Gewichtungsvektoren übertragen werden, zu denen, in denen Information über neue bzw. veränderte Werte der Komponenten der Gewichtungsvektoren übertragen wird, dynamisch in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Teilnehmerstation festgelegt. So kann z. B. im Falle einer unbewegten Teilnehmerstation, bei der Fading keinen oder nur geringen Einfluß auf die Übertragungsqualität der einzelnen Ausbreitungswege hat, oder einer extrem schnell bewegten Teilnehmerstation, bei der sich die Übertragungsqualitäten der Übertragungswege so schnell ändern, daß die Strahlformung nicht schnell genug nachgeregelt werden kann, überwiegend oder ausschließlich Information über die Komponenten der Eigenvektoren übermittelt werden, während bei geringeren Geschwindigkeiten überwiegend Bezeichnungen übertragen werden. Die Gewichtungsvektoren entsprechen jeweils Abstrahlungsrichtungen der Antenneneinrichtung der Basisstation. Zwar kann es durch schnelles Fading zu kurzfristigen Beeinträchtigungen der Übertragung auf einem solchen gerichteten Ausbreitungsweg kommen: die Richtungen selber, in die das Downlink-Signal abgestrahlt werden muß, um die Teilnehmerstation gut zu erreichen, ändern sich aber auch bei einer bewegten Teilnehmerstation nur langsam, etwa in einem Zeitmaßstab von Sekunden bis Minuten. Deshalb sind die an die Basisstation übertragenen Gewichtungsvektoren über eine Zeitspanne von entsprechender Länge für die Strahlformung brauchbar, auch wenn nicht alle Gewichtungsvektoren zu jedem Zeitpunkt eine Übertragung mit guter Qualität erlauben. Wenn die Übertragungsqualität eines zu einem gegebenen Zeitpunkt verwendeten Gewichtungsvektors nachläßt, muß die Basisstation kurzfristig auf einen anderen Gewichtungsvektor wechseln, der eine befriedigende bzw. die bestmögliche Übertragung erlaubt. Dieser Gewichtungsvektor wird hier als dominierender Gewichtungsvektor bezeichnet. Da die einzelnen Koeffizienten dieses Gewichtungsvektors bereits an der Basisstation bekannt sind, müssen sie in der Arbeitsphase nicht mehr einzeln übertragen werden; es genügt, lediglich eine Bezeichnung zu übertragen, die es der Basisstation erlaubt, den von der Teilnehmerstation gewünschten dominierenden Gewichtungsvektor unter den bei ihr gespeicherten auszuwählen und zur Übertragung zu verwenden. Die Informationsmenge, die zur Übertragung einer solchen Bezeichnung erforderlich ist, ist völlig unabhängig davon, mit welcher

Auflösung die Koeffizienten der Gewichtungsvektoren in der Initialisierungsphase übertragen worden sind, und sie ist auch unabhängig von der Zahl der Koeffizienten jedes Vektors, das heißt von der Zahl der Antennenelemente der Antenneneinrichtung der Basisstation. Diese Informationsmenge wächst lediglich logarithmisch mit der Zahl der an die Basisstation übertragenen Gewichtungsvektoren. Auf diese Weise ist in der Arbeitsphase der Teilnehmerstation eine hochgenaue Strahlformung bei minimalem Bandbreitenbedarf für die Übertragung der Bezeichnung möglich.

[0022] Vorzugsweise wird in der Initialisierungsphase eine erste räumliche Kovarianzmatrix des empfangenen Downlink-Signals erzeugt, und es werden Eigenvektoren dieser ersten Kovarianzmatrix ermittelt, die als Gewichtungsvektoren an die Basisstation übertragen werden.

[0023] Diese erste Kovarianzmatrix kann für das gesamte von der Teilnehmerstation empfangene Downlink-Signal einheitlich erzeugt werden. Da die einzelnen Beiträge zum von der Teilnehmerstation empfangenen Downlink-Signal sich jedoch nicht nur durch den zurückgelegten Weg, sondern auch durch die für diesen Weg benötigte Laufzeit unterscheiden, ist es aufschlußreicher, wenn die erste Kovarianzmatrix für jeden Tap des Downlink-Signals einzelnen erzeugt wird.

[0024] Vorzugsweise werden aus der Gesamtheit der Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix bzw. -matrizen diejenigen Eigenvektoren ermittelt, die die größten Eigenwerte aufweisen, denn diese entsprechen den Ausbreitungswegen mit der geringsten Dämpfung.

[0025] Um einen repräsentativen Aufschluß über die Qualität der einzelnen Übertragungswege zu gewinnen, ist es ferner zweckmäßig, daß jede erste Kovarianzmatrix über eine Vielzahl von Zeitschlitten des Downlink-Signals gemittelt wird.

[0026] Um in der Arbeitsphase den jeweils zeitweilig am besten geeigneten Gewichtungsvektor zu ermitteln, wird vorzugsweise eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt, und als dominierender Gewichtungsvektor wird derjenige unter den ermittelten Eigenvektoren ausgewählt, der mit der zweiten Kovarianzmatrix den größten Eigenwert aufweist. Diese zweite räumliche Kovarianzmatrix kann z. B. für jeden der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz von neuem erzeugt werden.

[0027] Um bei der Erzeugung der Kovarianzmatrizen die Beiträge der einzelnen Antennenelemente unterscheiden zu können, ist es zweckmäßig, daß jedes Antennenelement periodisch eine Trainingssequenz ausstrahlt, die der Teilnehmerstation bekannt und zu den Trainingssequenzen der anderen Antennenelemente orthogonal ist, und daß die Gewichtungsvektoren anhand der von der Teilnehmerstation empfangenen Trainingssequenzen ermittelt werden.

[0028] Einer speziellen Ausgestaltung zufolge, kann die Zahl der ermittelten Gewichtungsvektoren zwei betragen; in diesem Fall genügt ein Bit zur Bezeichnung des jeweils dominierenden Gewichtungsvektors in der Arbeitsphase, und dieses Bit kann in jedem der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz übertragen werden.

[0029] Es kann auch eine größere Zahl von Gewichtungsvektoren ermittelt werden, vorzugsweise eine Zweierpotenz  $2^n$ , wobei in diesem Fall  $n$  Bits zur Bezeichnung des dominierenden Gewichtungsvektors benötigt werden. Die Übertragung dieser Bezeichnung kann auf mehrere Zeitschlitz verteilt erfolgen; wenn in jedem Zeitschlitz  $a$  Bits für die Übertragung zur Verfügung stehen, werden  $n/a$  Zeitschlitz benötigt, und der durch die Bezeichnung spezifizierte Gewichtungsvektor wird in den  $n/a$  unmittelbar auf die vollständige Übertragung der Bezeichnung folgenden Zeitschlitz eingesetzt.

[0030] Einer zweiten bevorzugten Ausgestaltung zufolge werden die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung ermittelt. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, daß die Übertragung der Koeffizienten der ersten Gewichtungsvektoren von der Teilnehmerstation zur Basisstation nicht erforderlich ist. Ein solches Verfahren ist daher besser kompatibel mit existierenden Mobilfunksystemen, die eine solche Übertragung nicht vorsehen.

[0031] Zwar ist das schnelle Fading bei Mobilfunksystemen, die unterschiedliche Frequenzen für Uplink und Downlink anwenden, für die beiden Übertragungsrichtungen unterschiedlich, dies wirkt sich jedoch auf die Ermittlung der ersten Gewichtungsvektoren nicht störend aus, wenn letzere durch eine zeitliche Mittelung, insbesondere anhand einer gemittelten Kovarianzmatrix, erhalten werden.

[0032] Auch hier ist es bevorzugt, wenn die ersten Gewichtungsvektoren jeweils Eigenwerte einer Kovarianzmatrix sind, denn diese Eigenwerte entsprechen jeweils einem einzelnen Ausbreitungsweg des zwischen Basisstation und Teilnehmerstation auf möglicherweise mehreren verschiedenen Wegen gleichzeitig ausgetauschten Funksignals. Wenn zwischen der Teilnehmerstation und der Basisstation ein direkter Ausbreitungsweg (LOS, line of sight) besteht, was für die Basisstation anhand der Empfangsstatistik des Uplink-Signals feststellbar ist, so genügt es, daß diese das Downlink-Signal mit einem einzigen, diesem Übertragungsweg entsprechenden Gewichtungsvektor gewichtet ausstrahlt. Auf diese Weise wird die Sendeleistung der Basisstation gezielt auf den direkten Übertragungsweg ausgerichtet, andere Übertragungswege geringerer Güte werden nicht gezielt mit Sendeleistung versorgt.

[0033] Falls ein direkter Übertragungsweg nicht gegeben ist, kann als aktueller Gewichtungsvektor eine Linearkombination von ersten Gewichtungsvektoren verwendet werden. Dies entspricht einer gezielten Aufteilung der Sendeleistung der Basisstation auf eine begrenzte Zahl von Ausbreitungswegen entsprechend der Zahl der in die Linearkombination eingehenden aktuellen Gewichtungsvektoren. Falls in einer solchen Situation einer der Übertragungswege durch schnelles Fading kurzfristig ausfällt, ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß wenigstens ein anderer Gewichtungsvektor der Linearkombination einem Übertragungsweg mit brauchbarer Qualität entspricht. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich bei den ersten Gewichtungsvektoren um die Eigenvektoren der Kovarianzmatrix handelt, da bei diesen die Wahrscheinlichkeiten einer destruktiven Interferenz statistisch nicht korreliert sind.

[0034] Um bei einer solchen Übertragung unter Verwendung einer Linearkombination von Eigenvektoren einen möglichst guten Signal-Störabstand zu erzielen, können die Koeffizienten der Linearkombination für einen ersten Gewichtungsvektor um so größer gewählt werden, je größer dessen Eigenwert ist.

[0035] Falls die Verzögerung des Downlink-Signals auf zwei Übertragungswegen identisch ist, ist die Teilnehmerstation nicht ohne weiteres in der Lage, die Anteile dieser zwei Übertragungswege zu den von ihr empfangenen Signal auseinander zu halten. Es besteht daher die Möglichkeit, daß diese zwei Beiträge am Ort der Teilnehmerstation gegenphasig sind und sich gegenseitig auslöschen. Eine solche gegenseitige Auslöschung kann zuverlässig vermieden werden, wenn an der Basisstation aus einer für die Teilnehmerstation bestimmten Nutzdatenfolge mehrere Downlink-Signale erzeugt werden, die jeweils eine unterschiedliche Space-Time-Block-Kodierung aufweisen, und jedes dieser Downlink-Signale mit einem anderen aktuellen Gewichtungsvektor gewichtet ausgestrahlt wird. Auf diese Weise wird jedem Ausbreitungsweg eine charakteristische Space-

Time-Block-Kodierung zugeordnet, die die Beiträge der verschiedenen Übertragungswege unter allen Umständen unterscheidbar macht.

[0036] Der aktuelle Gewichtungsvektor, mit dem die Basisstation ein Downlink-Signal gewichtet auf die Antennenelemente gibt, muß nicht notwendigerweise mit einem der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren identisch sein; es kann sich auch um eine Linearkombination mehrerer erster Gewichtungsvektoren handeln. Bei einem solchen Verfahren kann eine Strahlformung anhand von der Teilnehmerstation an die Basisstation übertragener Kurzzeit-Rückkopplungsinformation z. B. dadurch erfolgen, daß die Teilnehmerstation an die Basisstation anstelle der Bezeichnungen von zu verwendenden Eigenvektoren Informationen über die Gewichtungskoeffizienten der Linearkombination überträgt. Diese Information kann Angaben über den Betrag und insbesondere über die Phase der Gewichtungskoeffizienten beinhalten. Dies ermöglicht es einer Basisstation zwei oder mehrere erste Gewichtungsvektoren phasenmäßig und ggf. amplitudenmäßig derart zu koordinieren, daß sich das SNR (Signal zu Rausch Abstand) am Teilnehmergerät maximiert.

[0037] Die von einer Teilnehmerstation ermittelten Gewichtungsvektoren können an die Basisstation übertragen werden, indem jeweils die Werte ihrer einzelnen Komponenten sukzessive an die Basisstation übermittelt werden. Die hierfür benötigte Datenmenge und damit auch die Dauer der Übertragung hängt ab von der Auflösung, mit der die Gewichtungsvektoren ermittelt und übertragen werden. Eine solche komponentenweise Übertragung ist zweckmäßig, wenn in einer frühen Phase der Verbindung zwischen Teilnehmer- und Basisstation die von der Teilnehmerstation ermittelten Vektoren erstmalig übermittelt werden müssen.

[0038] Wenn die Basisstation über einen Satz von Gewichtungsvektoren verfügt und die Initialisierungsphase wiederholt wird, um aktuelle Werte der ersten Gewichtungsvektoren zu ermitteln (was sinnvollerweise turnusmäßig geschehen sollte), kann in erheblichem Umfang Übertragungsbandbreite bei der Übertragung der Langzeit-Rückkopplungsinformation eingespart werden, indem anstelle der Werte der Komponenten eines aktuell ermittelten ersten Gewichtungsvektors jeweils nur noch die Änderung der Komponenten gegenüber dem vorherigen Wert dieses Vektors von der Teilnehmerstation an die Basisstation übertragen wird und dort zu einem in der vorherigen Initialisierungsphase ermittelten Wert addiert wird. Der auf diese Weise an der Basisstation wiedergewonnene aktuelle Wert des ersten Gewichtungsvektors kann eine wesentlich höhere Auflösung aufweisen, als der übertragenen Bitzahl entspricht.

[0039] Im Grenzfall kann sich die Differenzbildung darauf beschränken, daß für jede Komponente des ersten Gewichtungsvektors das Vorzeichen der Differenz zwischen dem in der aktuellen Initialisierungsphase ermittelten Wert und einem in einer vorherigen Initialisierungsphase ermittelten Wert gebildet wird, daß die Vorzeichen an die Basisstation übertragen werden und jede Komponente des dort gespeicherten ersten Gewichtungsvektors entsprechend dem übertragenen Vorzeichen um eine Einheit inkrementiert bzw. dekrementiert wird.

[0040] Dabei ist es ohne Belang, ob komplexwertige Komponenten der ersten Gewichtungsvektoren intern in der Teilnehmerstation und der Basisstation in einer kartesischen oder einer polaren Darstellung gehandhabt werden. Obwohl die Differenz zweier komplexer Werte in polarer Darstellung im allgemeinen nicht dem durch die Differenzen von Betrags- und Phasenteil gebildeten Zahlenpaar entspricht, kann bei der hier betrachteten Anwendung die Aktualisierung des Gewichtungsvektors an der Basisstation auch durch Übertragung dieses Zahlenpaares und seine kompo-

nentenweise Addition zu einem polar dargestellten Gewichtungsvektor an der Basisstation erfolgen.

[0041] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

5 [0042] Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Mobilfunknetzes  
[0043] Fig. 2 ein Blockschaltbild der Basisstation;

[0044] Fig. 3 ein Blockschaltbild der Teilnehmerstation und

10 [0045] Fig. 4 ein Flußdiagramm des Verfahrens gemäß einer ersten Ausgestaltung;

[0046] Fig. 5 ein Flußdiagramm des Verfahrens gemäß einer zweiten Ausgestaltung;

[0047] Fig. 6A, B und C Multiplexformate für die Übertragung von Kurzzeit- und Langzeit-Rückkopplungsinformation;

15 [0048] Fig. 7 ein Blockschaltbild eines Teils einer Send-/Empfangeinrichtung einer Basisstation; und

[0049] Fig. 8A, B die zeitliche Entwicklung einer Komponente eines Gewichtungsvektors an einer Basisstation für zwei verschiedene Verfahren zur Rückkopplung von Information über die Komponenten des Gewichtungsvektors an die Basisstation.

[0050] Fig. 1 zeigt die Struktur eines Funk-Kommunikationssystems, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren anwendbar ist. Es besteht aus einer Vielzahl von Mobilvermittlungsstellen MSC, die untereinander vernetzt sind bzw. den Zugang zu einem Festnetz PSTN herstellen. Weiterhin sind diese Mobilvermittlungsstellen MSC mit jeweils zumindest einem Basisstationscontroller BSC verbunden. Jeder Basisstationscontroller BSC ermöglicht wiederum eine Verbindung zu zumindest einer Basisstation BS. Eine solche Basisstation BS kann über eine Funkschnittstelle eine Nachrichtenverbindung zu Teilnehmerstationen MS aufbauen. Hierfür sind wenigstens einzelne der Basisstationen BS mit Antenneneinrichtungen AE ausgerüstet, die mehrere Antennenelemente ( $A_1 - A_M$ ) aufweisen.

[0051] In Fig. 1 sind beispielhaft Verbindungen V1, V2, V<sub>k</sub> zur Übertragung von Nutzinformationen und Signalisierungsinformationen zwischen Teilnehmerstationen MS1, MS2, MS<sub>k</sub>, MS<sub>n</sub> und einer Basisstation BS dargestellt. Ein Operations- und Wartungszentrum OMC realisiert Kontroll- und Wartungsfunktionen für das Mobilfunknetz bzw. für Teile davon. Die Funktionalität dieser Struktur ist auf andere Funk-Kommunikationssysteme übertragbar, in denen die Erfindung zum Einsatz kommen kann, insbesondere für Teilnehmerzugangsnetze mit drahtlosem Teilnehmeranschluß.

[0052] Fig. 2 zeigt schematisch den Aufbau einer Basisstation BS. Eine Signalerzeugungseinrichtung SA stellt das für die Teilnehmerstation MS<sub>k</sub> bestimmte Sendesignal in Funkblöcken zusammen und ordnet es einem Frequenzkanal TCH zu. Eine Send-/Empfangeinrichtung TX/RX empfängt das Sendesignal  $s_k(t)$  von der Signalerzeugungseinrichtung SA. Die Send-/Empfangeinrichtung TX/RX umfaßt ein Strahlformungsnetzwerk, in dem das Sendesignal  $s_k(t)$  für die Teilnehmerstation MS<sub>k</sub> mit Sendesignalen  $s_1(t)$ ,  $s_2(t)$ , ... verknüpft wird, die für andere Teilnehmerstationen bestimmt sind, denen die gleiche Sendefrequenz zugeordnet ist. Das Strahlformungsnetzwerk umfaßt für jedes Teilnehmerstationensignal und jedes Antennenelement einen Multiplizierer M, der das Sendesignal  $s_k(t)$  mit einer Komponente  $w_m^{(k)}$  eines Gewichtungsvektors  $w^{(k)}$  multipliziert, der der empfangenden Teilnehmerstation MS<sub>k</sub> zugeordnet ist. Die Ausgangssignale der jeweils einem Antennenelement  $A_m$ ,  $m = 1, \dots, M$  zugeordneten Multiplizierer M werden von einem Addierer AD<sub>m</sub>,  $m = 1, 2, \dots, M$  addiert, von einem Digitalanalogwandler DAC analogisiert, auf die Sendefrequenz umgesetzt (HF) und in einem Leistungsverstärker PA ver-

stärkt, bevor sie das Antennenelement  $A_1, \dots, A_M$  erreichen. Eine zu dem beschriebenen Strahlformungsnetz analoge Struktur, die in der Figur nicht eigens dargestellt ist, ist zwischen den Antennenelementen  $A_1, A_2, \dots, A_M$  und einem digitalen Signalprozessor DSP angeordnet, um das empfangene Gemisch von Uplink-Signalen in die Beiträge der einzelnen Teilnehmerstationen zu zerlegen und diese getrennt dem DSP zuzuführen.

[0053] Eine Speichereinrichtung SE enthält zu jeder Teilnehmerstation MSk einen Satz von Gewichtungsvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$ , unter denen der von den Multiplizierern M verwendete Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  ausgewählt ist.

[0054] Fig. 3 zeigt schematisch den Aufbau einer Teilnehmerstation MSk zur Durchführung einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Teilnehmerstation MSk umfaßt eine einzige Antenne A, die das von der Basisstation BS ausgestrahlte Downlink-Signal empfängt. Das ins Basisband umgesetzte Empfangssignal von der Antenne A wird einem sogenannten Rake Searcher RS zugeführt, der dazu dient, Laufzeitunterschiede von Beiträgen des Downlink-Signals zu messen, die die Antenne A auf unterschiedlichen Ausbreitungswegen erreicht haben. Das Empfangssignal liegt ferner an einem Rake-Verstärker RA an, der eine Mehrzahl von Rake-Fingern umfaßt, von denen drei in der Figur dargestellt sind, und die jeweils ein Verzögerungsglied DEL und einen Entspreizer-Entscrambler EE aufweisen. Die Verzögerungsglieder DEL verzögern das Empfangssignal jeweils um einen vom Rake-Searcher RS gelieferten Verzögerungswert  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$ . Die Entspreizer-Entscrambler EE liefern an ihren Ausgängen jeweils eine Folge von abgeschätzten Symbolen, wobei die Ergebnisse der Abschätzung für die einzelnen Entscrambler aufgrund unterschiedlicher Phasenlagen des Downlink-Signals zu Entscrambling- und Spreizcode in den einzelnen Fingern des Rake-Verstärkers unterschiedlich sein können.

[0055] In den von den Entspreizern-Entscramblern EE gelieferten Symbolfolgen sind auch die Ergebnisse der Abschätzung von Trainingssequenzen enthalten, die von der Basisstation ausgestrahlt werden, und die für jedes Antennenelement der Basisstation quasi-orthogonal und charakteristisch sind. Ein Signalprozessor SP dient zum Vergleich der Ergebnisse der Abschätzung dieser Trainingssequenzen mit den der Teilnehmerstation bekannten, tatsächlich in den Trainingssequenzen enthaltenen Symbolen. Anhand dieses Vergleichs kann die Impulsantwort des Übertragungskanal zwischen Basisstation BS und Teilnehmerstation MSk für jeden einzelnen Finger oder Tap ermittelt werden. An die Ausgänge der Entspreizer-Entscrambler EE ist auch ein Maximum Ratio Combiner MRC angeschlossen, der die einzelnen abgeschätzten Symbolfolgen zu einer kombinierten Symbolfolge mit bestmöglichen Signalrauschverhältnis zusammenfügt und diese an eine Sprachsignalverarbeitungseinheit 55 V liefert. Die Arbeitsweise dieser Einheit SSV, die die empfangene Symbolfolge in ein für einen Benutzer hörbares Signal umwandelt bzw. empfangene Töne in eine Sendesymbolfolge umsetzt, ist hinlänglich bekannt und braucht hier nicht beschrieben zu werden.

[0056] Der Signalprozessor SP ermittelt für jeden Tap einzeln die Impulsantworten eines jeden Antennenelements  $AE_1, \dots, AE_M$  und fügt diese Impulsantworten in der z. B. aus der zitierten DE 198 03 188 bekannten Weise zu einer räumlichen Kovarianzmatrix  $R_{xx}$  zusammen. Diese räumlichen Kovarianzmatrizen werden an eine Recheneinheit RE geliefert, deren Arbeitsweise anhand des Flußdiagramms aus Fig. 4 beschrieben wird.

[0057] In einer Initialisierungsphase 1 summiert die Recheneinheit RE eine große Zahl von gelieferten Kovarianzmatrizen  $R_{xx}$  für jeden Tap getrennt auf und bildet einen

Mittelwert  $\overline{R_{xx}}$  der Kovarianzmatrizen. Eine Analyse der Eigenwerte und Eigenvektoren der für die verschiedenen Taps erhaltenen gemittelten Kovarianzmatrizen  $\overline{R_{xx}}$  schließt sich an (Schritt 2).

[0058] Die Analyse kann sich auf sämtliche Eigenvektoren und -werte der Kovarianzmatrix  $\overline{R_{xx}}$  erstrecken, in dem hier betrachteten Fall ermittelt eine Kontrolleinheit KE unter den bei der Analyse gefundenen Eigenvektoren eine begrenzte Zahl, z. B. 2 oder 4, die die Eigenwerte mit den höchsten Beträgen aufweisen, und die folglich den Übertragungswegen mit der geringsten Dämpfung entsprechen. Alternativ kann ein Verfahren zur Eigenvektoranalyse eingesetzt werden, das die Eigenvektoren der Kovarianzmatrix  $\overline{R_{xx}}$  in der Reihenfolge abnehmender Beträge der Eigenwerte liefert, und das abgebrochen wird, wenn die begrenzte Zahl von Eigenvektoren ermittelt ist.

[0059] Die Koeffizienten der ermittelten Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  werden mit dem von der Sprachverarbeitungseinheit SSV kommenden Nutzdatenstrom kombiniert und über die Antenne A an die Basisstation übertragen (Schritt 4). Die Basisstation speichert sie in ihrer Speichereinheit SE zur Verwendung als Koeffizienten für die Multiplizierer M des Strahlformungsnetzes.

[0060] Nun geht die Recheneinheit RE in eine Arbeitsphase über, in der sie diese Kovarianzmatrizen  $R_{xx}$  jeweils auf einen einzelnen Zeitschlitz der Teilnehmerstation bezogen von dem Signalprozessor SP empfängt (Schritt 5) und mit jedem der in der Speichereinheit gespeicherten, an die Basisstation übertragenen Eigenvektoren multipliziert, um die Eigenwerte dieser Vektoren für die betreffende Kovarianzmatrix  $R_{xx}$  zu ermitteln (Schritt 6). Die Nummer des Eigenvektors, der den größeren Eigenwert aufweist, wird im Schritt 7 über die Kontrolleinheit KE an die Basisstation übermittelt. Dieser Eigenvektor wird als der dominierende Eigenvektor bezeichnet, denn er liefert den stärksten und in der Regel besten Beitrag zum Empfangssignal. Wenn lediglich zwei ermittelte Eigenvektoren im Speicherelement SE gespeichert sind und an die Basisstation übertragen worden sind, genügt ein Bit, um den Eigenvektor mit dem jeweils größeren Eigenwert zu bezeichnen. Folglich kann, wenn pro Zeitschlitz ein Bit für die Rückmeldung der Empfangseigenschaften an die Basisstation zur Verfügung steht, der von der Basisstation zur Strahlformung verwendete Vektor in jedem Zeitschlitz aktualisiert und für die Strahlformung im darauffolgenden Zeitschlitz verwendet werden.

[0061] Wenn vier Eigenwerte an die Basisstation übermittelt worden sind, sind zwei Bits zur Bezeichnung des jeweils dominierenden Eigenvektors erforderlich. Wenn ein Bit pro Zeitschlitz für die Rückübertragung der Empfangseigenschaften zur Verfügung steht, sind daher zwei Zeitschlitze erforderlich, um die vollständige Bezeichnung des dominierenden Vektors zu übertragen. Dieser wird folglich für die zwei auf seiner Übertragung folgenden Zeitschlitze für die Strahlformung genutzt; im Laufe dieser zwei Schlitze wird die anschließend zu verwendende Bezeichnung übertragen.

[0062] Die Schritte der Arbeitsphase können viele Male zyklisch wiederholt werden, bevor die Initialisierungsphase erneut durchgeführt werden muß, um die Koeffizienten der Eigenvektoren zu aktualisieren.

[0063] Der einfacheren Verständlichkeit wegen wurde oben zwischen Initialisierungsphase und Arbeitsphase unterschieden. Dies bedeutet jedoch nicht, daß beide Phasen zeitlich von einander getrennt ablaufen müssen. Es ist z. B. möglich und zweckmäßig, beide Phasen miteinander zu verschränken, indem die Recheneinheit RE mit einer empfangenen Kovarianzmatrix  $R_{xx}$  zum einen die Eigenwertbestimmung des Schritts 6 ausführt, und zum anderen diese Matrix zur Bildung eines laufenden Mittelwerts  $\overline{R_{xx}}$  der Ko-

varianzmatrizen in Schritt 1 heranzieht. Auf diese Weise ist gewährleistet, daß jederzeit eine aktuelle gemittelte Kovarianzmatrix  $\bar{R}_{xx}$  zur Verfügung steht, an der die Eigenwertanalyse des Schritts 2 durchgeführt werden kann.

[0064] Die Berechnung der gemittelten Kovarianzmatrix  $\bar{R}_{xx}$  erfolgt zweckmäßigerweise über eine gleitende Mittelwertbildung gemäß folgender Formel:

$$(\bar{R}_{xx})_i = \rho(\bar{R}_{xx})_{i-1} + (1-\rho)R_{xx,i},$$

wobei  $(\bar{R}_{xx})_i$  jeweils die i-te gemittelte Kovarianzmatrix bezeichnet,  $(R_{xx})_i$  die i-te aktuelle Kovarianzmatrix bezeichnet und  $\rho$  ein Maß für die Zeitkonstante der Mittelwertbildung mit einem Wert zwischen 0 und 1 darstellt.

[0065] Wenn zu Beginn einer Übertragungsverbindung zwischen Teilnehmerstation MSk und Basisstation BS noch keine gemittelte Kovarianzmatrix  $\bar{R}_{xx}$  zur Verfügung steht, an der eine Eigenwertanalyse vorgenommen werden könnte, so sind dennoch bereits Daten zu übertragen. In dieser frühen Phase der Übertragungsverbindung werden anstelle von ermittelten Eigenvektoren vorab festgelegte erste Gewichtungsvektoren zum Gewichten des Downlink-Signals verwendet. Die Zahl dieser vorab festgelegten ersten Gewichtungsvektoren ist gleich der Zahl der später ermittelten Eigenvektoren und nicht größer als die der Zahl der Antennenelemente der Basisstation. Die vorab festgelegten ersten Gewichtungsvektoren bilden einen orthonormales System, insbesondere kann es sich um einen Satz von Vektoren der Form  $(1,0,0,\dots)$ ,  $(0,1,0,\dots)$ ,  $(0,0,1,0,\dots)$ , handeln. Eine solche Wahl der vorab festgelegten Gewichtungsvektoren bedeutet, daß jeder vorab festgelegte Gewichtungsvektor der Beaufschlagung eines einzigen Antennenelementes mit dem Downlink-Signal entspricht. Durch Übertragen einer Bezeichnung eines Gewichtungsvektors an die Basisstation hat die Teilnehmerstation somit die Möglichkeit, zu bestimmen, welches der mehreren Antennenelemente zum Ausstrahlen des für sie bestimmten Downlink-Signals verwendet wird.

[0066] Wenn die Zahl der ermittelten und an die Basisstation übertragenen Eigenvektoren zwei beträgt, so genügt ein einziges von der Teilnehmerstation an die Basisstation übertragene Bit, um zu spezifizieren, welcher dieser Eigenvektoren von der Basisstation zum Senden verwendet werden soll. Dieses Bit kann auch aufgefaßt werden als eine Angabe über die Koeffizienten einer Linearkombination der zwei Eigenvektoren, die je nach Wert dieses Bits entweder (0,1) oder (1,0) betragen. Denkbar ist aber auch, daß die Basisstation fortlaufend mit beiden Gewichtungsvektoren gewichtete Downlink-Signale ausstrahlt, und daß die relative Phasenlage der zwei Gewichtungsvektoren anhand der von der Teilnehmerstation übertragenen Kurzzeit-Rückkopplungsinformation eingestellt wird. Selbstverständlich kann die von der Teilnehmerstation übertragene Linearkombinationskoeffizienten- und/oder -Phaseninformation auch jeweils mehr als ein Bit umfassen, so daß auch Zwischenwerte der Koeffizienten oder der Phasenverschiebung eingestellt werden können, und sie kann gegebenenfalls auf mehrere Zeitschlitze verteilt übertragen werden.

[0067] Das Verfahren ist ohne weiteres auf mehr als zwei Eigenvektoren verallgemeinerbar; in diesem Fall kann die Kurzzeit-Rückkopplungsinformation über Betrag und/oder Phase der einzelnen Eigenvektoren in einer vorgegebenen Reihenfolge übertragen werden, die der Basisstation die Zuordnung der Amplituden- und/oder Phasenwerte zu einem Eigenvektor ermöglicht, oder es können die zwei oben vorgestellten Konzepte kombiniert werden, in dem jeweils eine Bezeichnung eines Eigenvektors im Zusammenhang mit Betrags- und/oder Phaseninformation an die Basisstation

übertragen wird.

[0068] Die Übertragung der Langzeit-Rückkopplungsinformation, die die Koeffizienten der einzelnen Eigenvektoren angibt, an die Basisstation kann über einen eigenen Signalisierungskanal erfolgen. Bevorzugt, weil mit den bestehenden Normen besser kompatibel, ist jedoch eine Übertragung im Zeitmultiplex mit der Kurzzeit-Rückkopplungsinformation innerhalb der Nutzlast-Datenpakete.

[0069] Fig. 6A, B und C zeigen unterschiedliche Formate für die Multiplexübertragung von Kurzzeit- und Langzeit-Rückkopplungsinformation im Rahmen eines WCDMA-Systems. Beim WCDMA-Standard umfaßt jeder Übertragungsrahmen 15 Zeitschlitze. Beim Multiplexformat von Fig. 6A wird bei jeweils 14 der Zeitschlitze eines solchen Rahmens das zur Verfügung stehende Rückkopplungsbit zur Übertragung von Kurzzeit-Rückkopplungsinformation, d. h. von Bezeichnungen von zu verwendenden Eigenvektoren oder von relativen Amplituden und Phasen der den einzelnen Eigenvektoren entsprechenden Downlink-Signale, übertragen. Im fünfzehnten Rahmen wird ein Langzeit-Rückkopplungsbit übertragen, welches Information über die Komponenten der von der Teilnehmerstation ermittelten Eigenvektoren beinhaltet. Man erkennt, daß in diesem Format die Übertragung der Komponenten eines einzigen Eigenvektors eine Vielzahl von Rahmen in Anspruch nehmen muß, daß aber in dieser Zeit viele Male eine Bezeichnung eines Eigenvektors übertragen werden kann. Ein solches Format ist geeignet für den Dauerbetrieb einer Verbindung zu einer mäßig schnell bewegten Teilnehmerstation, die schnellem Fading ausgesetzt ist, deren Eigenvektoren sich jedoch nur langsam ändern.

[0070] Fig. 6B zeigt ein zweites Multiplex-Format, bei dem sich jeweils vier Zeitschlitze, in denen Kurzzeit-Rückkopplungsinformation übertragen wird, mit einem Zeitschlitz für Langzeit-Rückkopplungsinformation abwechseln. Dieses Format ist geeignet, falls eine schnelle Bewegung der Teilnehmerstation eine häufigere Aktualisierung der Eigenvektoren erfordert, es ist aber auch zweckmäßig für die Anfangsphase einer Verbindung, in der es wünschenswert ist, nach erstmaliger Berechnung eines Satzes von Eigenvektoren diese möglichst zügig zur Basisstation übertragen zu können. Alternativ könnte auch ein Format zum Einsatz kommen, bei dem auf je zwei Zeitschlitze, in denen Kurzzeit-Rückkopplungsinformation übertragen wird, einer für Langzeit-Rückkopplungsinformation folgt. Beide Formate haben gegenüber anderen Zahlenverhältnissen von Zeitschlitzen für Kurzzeit- bzw. Langzeit-Rückkopplungsinformation den Vorteil, daß die Perioden dieser Formate von 5 bzw. 3 Bits genau in einen Zeitrahmen passen.

[0071] Des weiteren haben die oben beschriebenen Formate den Vorteil, daß sie eine gerade Zahl von Bits von Kurzzeit-Rückkopplungsinformation in jedem WCDMA-Rahmen übertragen. Wenn die Zahl der ermittelten und an die Basisstation übertragenen Eigenvektoren zwei beträgt, die Bezeichnung eines Eigenvektors also nur ein Bit umfaßt, hat dies keine Auswirkungen. In dem praktisch bedeutsamen Fall jedoch, daß jeweils vier Eigenvektoren an die Basisstation übertragen werden und die zu ihrer Auswahl von der Teilnehmerstation an die Basisstation übertragene Bezeichnung zwei Bit lang ist, paßt so immer eine ganze Zahl von Bezeichnungen in einen Rahmen, und ein Zusammenfügen von in verschiedenen Rahmen übertragenen Bits zu einer Bezeichnung ist nicht erforderlich.

[0072] Fig. 6C zeigt ein Multiplexformat in einem erweiterten Sinne, bei dem die Übertragung von Kurzzeit-Rückkopplungsinformationen völlig unterbleibt. Ein solches Format ist für zwei verschiedene Anwendungssituationen be-



sonders sinnvoll:

Zum einen eignet es sich für eine völlig unbewegte Teilnehmerstation, die keinem schnellen Fading ausgesetzt ist, d. h., eine Teilnehmerstation, deren aktuelle Kovarianzmatrizen  $R_{xx}$  im wesentlichen konstant sind. Für eine solche Teilnehmerstation wird keine Kurzzeit-Rückkopplungsinformation benötigt; es ist lediglich wünschenswert, die für die Ausstrahlung des Downlink-Signals zu verwendenden Eigenvektoren möglichst schnell an der Basisstation zur Verfügung zu haben.

[0073] Die zweite Anwendungssituation ist die einer extrem schnell bewegten Teilnehmerstation, bei der die Empfangsqualitäten einzelner Übertragungswege so schnell variieren, daß die von der Teilnehmerstation gelieferte Kurzzeit-Rückkopplungsinformation zu der Zeit, wo sie von der Basisstation angewendet werden kann, bereits veraltet ist. Bei einer solchen Station ist es daher sinnvoller, die Eigenvektoren so schnell wie möglich zu aktualisieren. Zum Ausstrahlen des Downlink-Signals kann z. B. immer der jeweils beste Eigenvektor verwendet werden, in der Annahme, daß Empfangsunterbrechungen durch schnelles Fading aufgrund der großen Geschwindigkeit der Teilnehmerstation nie so lang anhalten werden, daß die Unterbrechnung nicht durch Interpolation überbrückbar ist, oder es können mehrere Eigenvektoren gleichzeitig verwendet werden.

[0074] Fig. 8A und 8B zeigen die zeitliche Entwicklung einer Komponente  $c$  eines von der Basisstation BS verwendeten ersten Gewichtungsvektors für zwei verschiedene Methoden zur Übertragung der Langzeit-Rückkopplungsinformation von der Teilnehmerstation MSk zur Basisstation BS. Dabei bezeichnet eine dünne durchgezogene Linie  $c_{mess}$  den zeitlichen Verlauf des von der Teilnehmerstation gemessenen Werts der Komponente  $c$ , und eine fette durchgezogene Linie  $c_{steu}$  zeigt die Entwicklung des Werts von  $c$ , der von der Basisstation tatsächlich für die Strahlformung eingesetzt wird. Die Komponente  $c$  kann eine realwertige Komponente eines ersten Gewichtungsvektors, ein Real- oder Imaginärteil einer komplexwertigen Komponente oder auch ein Betrags- oder Winkelanteil sein.

[0075] Aufgrund der bei der Übertragung im Zeitmultiplex mit der Kurzzeit-Rückkopplungsinformation sehr begrenzten Bandbreite für die Übertragung der Werte von  $c$  kann die Basisstation BS den von der Teilnehmerstation MSk ermittelten Werten jeweils nur mit einer nichtverschwindenden Verzögerung folgen, die mehrere Zeitschlitze betragen kann und unter anderem von der Auflösung der übertragenen Langzeit-Rückkopplungsinformation bestimmt ist. Diese Verzögerung ist allerdings in der Darstellung der Fig. 8A und 8B vernachlässigt, um den Vergleich der zwei Methoden nicht unnötig zu verkomplizieren.

[0076] Als Beispiel wird angenommen, daß die Komponente  $c$  wird mit einer Auflösung von vier Bit gemessen und verarbeitet wird. Im Falle der Fig. 8A beginnt die Komponente  $c$  zum Zeitpunkt  $t = 0$  mit dem Wert 3. Initialisierungsphasen, in denen die Basisstation jeweils den aktuellen Wert von  $c$  mißt, finden in regelmäßigen Zeitabständen zu Zeitpunkten  $t = 1, 2, \dots$  statt. Zum Zeitpunkt  $t = 1$  hat  $c_{mess}$  den Wert 7 erreicht. Die Teilnehmerstation überträgt die Differenz +4 zwischen den zwei Meßwerten an die Basisstation, die daraufhin  $c_{steu} = 7$  setzt. Zur Übertragung der Differenz werden drei Bits verwendet, die die Werte -3, -2, -1, 0, 1, ..., 4 darstellen können. Eines von vier Bits wird eingespart. Die Einsparung könnte ausgeprägter sein, wenn der Zeitabstand zwischen zwei Messungen von  $c$  kürzer, die zu übertragende Differenz dementsprechend kleiner und die zu ihrer Übertragung benötigte Bitzahl geringer wäre. Welche Zeitabstände zwischen zwei Messungen die größtmögliche Einsparung an Übertragungsbandbreite gegenüber der

Übertragung der kompletten Zahlenwerte von  $c$  erlaubt, hängt von den lokalen Gegebenheiten des Funk-Kommunikationsnetzes ab, in dem die Erfindung eingesetzt wird; er kann ggf. dynamisch festgelegt werden, z. B. durch Umschalten zwischen verschiedenen der mit Bezug auf Fig. 6A bis 6C beschriebenen Multiplexformate.

[0077] Zum Zeitpunkt  $t = 2$  wird eine Differenz von +3 übertragen und so  $c_{steu} = 10$  gesetzt. Bei  $t = 3$  ist  $c_{mess}$  praktisch unverändert geblieben und die Differenz 0 wird übertragen; auch  $c_{steu}$  bleibt unverändert. Auch bei  $t = 6, 7, 8$  wird jeweils die Differenz 0 übertragen.

[0078] Bei der in Fig. 8B gezeigten Methode mißt die Teilnehmerstation in jeder Initialisierungsphase den aktuellen Wert von  $c$  ( $c_{mess}$ ) und vergleicht ihn mit dem in der vorhergehenden Initialisierungsphase ermittelten und gespeicherten Wert. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  hat  $c$  ungefähr den Wert 5,4. Die Teilnehmerstation speichert dafür den quantisierten Wert 5. Zum Zeitpunkt  $t = 1$  mißt sie  $c_{mess} \approx 5,5$ . Dieser ist größer als der gespeicherte Wert; sie inkrementiert deshalb den gespeicherten Wert um 1 und überträgt eine Differenz +1 an die Basisstation, die daraufhin den von ihr verwendeten Wert  $c_{steu}$  der Komponente  $c$  ebenfalls um 1 erhöht.

[0079] Zum Zeitpunkt  $t = 2$  beträgt  $c_{mess}$  ca. 5,4; der Vergleich mit dem an der Teilnehmerstation gespeicherten Wert, der nun 6 beträgt, ergibt eine Verringerung. Infolgedessen dekrementiert die Teilnehmerstation den gespeicherten Wert von  $c$  und überträgt -1 an die Basisstation, die  $c_{steu}$  ebenfalls dekrementiert. Der in der Teilnehmerstation gespeicherte Wert und  $c_{steu}$  sind somit immer gleich.

[0080] Zum Zeitpunkt  $t = 3$  ist  $c_{mess}$  auf 5,2 gefallen. Da der gespeicherte Wert 5 ist, wird dennoch eine Zunahme erkannt, und  $c_{steu}$  wird auf 6 inkrementiert.

[0081] Man erkennt, daß bei dieser zweiten Methode  $c_{steu}$  immer um  $c_{mess}$  oszilliert, wenn  $c_{mess}$  sich nur unwesentlich ändert. Der Vorteil der Methode liegt darin, daß in jeder Initialisierungsphase nur ein Bit zur Übertragung der Änderung von  $c_{steu}$  benötigt wird, dessen Wert je nach Vorzeichen der festgestellten Änderung 0 oder 1 beträgt. Im Gegensatz dazu sind bei der ersten Methode, bei der auch eine Änderung von 0 übertragen werden kann, mindestens zwei Bits erforderlich, um eine Zunahme, das Gleichbleiben oder eine Abnahme von  $c_{steu}$  zu übertragen.

[0082] Ab  $t = 6$  beginnt  $c_{mess}$ , schnell anzuwachsen und hat bei  $t = 7$  etwa den Wert 8 erreicht. Zum gleichen Zeitpunkt kann  $c_{steu}$  nur auf den Wert 6 inkrementiert werden, es kommt also zu einer deutlichen Abweichung zwischen den zwei Werten. Um einem Auseinanderdriften von  $c_{mess}$  und  $c_{steu}$  im Falle einer schnellen Änderung von  $c_{mess}$  entgegenzuwirken, ist vorgesehen, daß die Teilnehmerstation die Differenz der zwei Werte überwacht und bei Überschreitung eines vorgegebenen Grenzwerts die Zeitabstände zwischen zwei Initialisierungsphasen verkürzt. Dies ist im Beispiel der Fig. 8B im Anschluß an den Zeitpunkt  $t = 7$  der Fall.  $c_{steu}$  wird in kurzen Zeitabständen inkrementiert, bis zum Zeitpunkt 7,5  $c_{steu}$   $c_{mess}$  überholt hat.

[0083] Aus der Dekrementierung von  $c_{steu}$  zum Zeitpunkt  $t = 7,6 = 8$  folgert die Teilnehmerstation, daß die Phase des schnellen Anstiegs von  $c_{mess}$  vorüber ist und erhöht den Zeitabstand zwischen zwei Initialisierungsphasen auf den ursprünglichen Wert.

[0084] Eine zweite Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mit Bezug auf Fig. 5 beschrieben. Bei dieser Ausgestaltung werden die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung von einer Teilnehmerstation MSk zur Basisstation BS ermittelt. Die Basisstation BS ist zu diesem Zweck mit Komponenten analog zu dem mit Bezug auf Fig. 3 für die Teilnehmerstation beschriebenen Rake-Searcher RS, Rake-Verstärker RA, Si-



gnalprozessor SP, Recheneinheit RE, Speicherelement SE etc. ausgestattet.

[0085] In Schritt 1 des Verfahrens bildet die Recheneinheit RE eine gemittelte Kovarianzmatrix für jeden einzelnen Tap des Uplink-Signals und ermittelt die Eigenvektoren und Eigenwerte der so erhaltenen Kovarianzmatrix. Diese Eigenwerte entsprechen jeweils einem Übertragungsweg und enthalten die Information über die relativen Phasenlagen des entsprechenden Beitrags des Uplink-Signals an den einzelnen Antennenelementen und damit über die Richtung, aus der der Beitrag empfangen wird. Wenn die Frequenzen von Uplink und Downlink bei dem betrachteten Funk-Kommunikationssystem gleich sind, können die in dem Eigenvektor enthaltenen Phaseninformationen direkt für die Gewichtung des Downlink-Signals genutzt werden. Falls die Frequenzen von Uplink und Downlink unterschiedlich sind, so ist es erforderlich, die in dem Eigenvektor enthaltene Phaseninformation unter Zugrundelegung der Uplink-Frequenz in eine entsprechende Richtung und diese Richtung anhand der Downlink-Frequenz wieder in Phaseninformation umzurechnen, um für die Strahlformung im Downlink geeignete Eigenvektoren zu erhalten.

[0086] Die Analyse des Schritts 2 umfaßt auch die Bestimmung der Eigenwerte der Eigenvektoren. Der Betrag des Eigenwerts ist ein Maß für die Qualität jedes einzelnen Übertragungsweges; für die spätere Verwendung wird daher eine gegebene Zahl von z. B. 2 oder 4 Eigenvektoren ausgewählt und in Schritt 3 gespeichert, die unter den gefundenen Eigenvektoren die Eigenwerte mit dem höchsten Betrag aufweisen.

[0087] In der sich anschließenden Arbeitsphase empfängt die Recheneinheit zyklisch Kovarianzmatrizen von dem Signalprozessor, wobei jede Kovarianzmatrix jeweils auf ein einzelnes Tap des Uplink-Signals bezogen ist. Die in der Speichereinheit SE gespeicherten Eigenvektoren entsprechen ihrerseits jeweils einem bestimmten Tap. Die Recheneinheit bestimmt in Schritt 6 für jeden gespeicherten Eigenvektor dessen aktuellen Eigenwert bei Multiplikation mit der in Schritt 5 gelieferten, dem gleichen Tap wie der Eigenvektor entsprechenden Kovarianzmatrix. Der erhaltene Eigenwert liefert ein Maß für die Übertragungsqualität auf dem dem Eigenvektor entsprechenden Übertragungsweg mit einer zeitlichen Auflösung, die der Rate der Erzeugung der Kovarianzmatrizen in der Arbeitsphase entspricht. In dieser Phase werden die Kovarianzmatrizen von dem Signalprozessor jeweils für jeden der Teilnehmerstationen zugeteilten Zeitschlitz aktuell erzeugt; der Eigenwert ist daher ein Maß für die Übertragungsqualität des Übertragungsweges unter Berücksichtigung des schnellen Fadings.

[0088] Bei einer ersten, einfachen Variante des Verfahrens schließt sich ein Schritt 8 an, in dem ein aktueller Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  berechnet wird, indem eine Linearkombination der gespeicherten Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  gebildet wird, wobei jeder der Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  in die Linearkombination multipliziert mit seinem in Schritt 6 erhaltenen Eigenwert oder dessen Betrag eingeht. Eine Normierung der Linearkombination ist möglich. Durch diese Gewichtung bei der Bildung der Linearkombination ist gewährleistet, daß diejenigen Übertragungswege, die kurzfristig die besten Übertragungseigenschaften aufweisen, das von der Basisstation abgestrahlte Downlink-Signal dominieren. Die anderen in den aktuellen Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  eingehenden Eigenvektoren dienen der Absicherung, daß auch in dem Falle, daß der am höchsten gewichtete Übertragungsweg von einem Zeitschlitz auf den nächsten ausfällt, ein brauchbares Signal bei der Teilnehmerstation ankommt.

[0089] Falls einer der Übertragungswege zwischen Basis-

station und Teilnehmerstation eine Direktverbindung ist, so ist dies für die Basisstation darin erkennbar, daß der entsprechende Beitrag an dem empfangenen Uplink-Signal relativ geringe Phasenfluktuation und zumeist auch geringe Dämpfung aufweist. Wenn ein solcher direkter Übertragungsweg existiert, kann der zugeordnete Eigenvektor unmittelbar als aktueller Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  verwendet werden, mit anderen Worten alle anderen Eigenvektoren gehen mit Koeffizienten 0 in die Bildung der Linearkombination ein.

[0090] Eine weiterentwickelte Variante der mit Bezug auf Fig. 4 bzw. 5 beschriebenen Ausgestaltungen des Verfahrens setzt eine Basisstation mit einer mehrere Antennenelemente umfassende Antenneneinrichtung voraus, die in der Lage ist, unter Verwendung von Space-Time-Block-Codes auszustrahlen. Solche Codes sind z. B. aus Tarokh et al., Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs, IEEE Trans. on Information Theory, Bd. 45 Nr. 5, Juli 1999, bekannt. Ein Ausschnitt der Send-/Empfangseinrichtung Tx/Rx einer solchen Basisstation ist in Fig. 7 gezeigt. In dieser Send-/Empfangseinrichtung wird eine für die Teilnehmerstation MSk bestimmte komplexwertige Symbolfolge in zwei Stränge aufgeteilt, von denen einer einen Space-Time-Block-Encoder STBE enthält, der hier zwei aufeinanderfolgende Symbole der Symbolfolge  $s_k(t)$  in ihrer Reihenfolge vertauscht, konjugiert und das Vorzeichen eines Symbols umkehrt. Die auf diese Weise erhaltenen zwei unterschiedlichen Symbolfolgen mit gleichem Informationsgehalt werden in einem Strahlformungsnetzwerk, dessen Aufbau analog zu dem mit Bezug auf Fig. 2 beschriebenen ist und deshalb hier nicht wieder eingehend behandelt wird, mit zwei unterschiedlichen Eigenvektoren  $w^{(k,a)}, w^{(k,b)}$  aus dem Satz der Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots, w^{(k,a)}, \dots, w^{(k,M)}$  gewichtet, additiv überlagert und ausgestrahlt. Die einzelnen Antennenelemente  $\Lambda_1, \dots, \Lambda_M$  sind somit in der Lage, ein Gemisch von Signalen auszustrahlen, die eine unterschiedliche Space-Time-Block-Kodierung aufweisen. Die Kodierung ist somit nicht für ein einzelnes Antennenelement spezifisch sondern für einen Ausbreitungsweg a bzw. b, der dem zur Gewichtung verwendeten Eigenvektor  $w^{(k,a)}$  bzw.  $w^{(k,b)}$  entspricht. Dadurch ist gewährleistet, daß Signale, die die Teilnehmerstation MSk auf diesen zwei verschiedenen Übertragungswegen a, b erreichen, niemals destruktiv interferieren können, auch wenn ihre relative Verzögerung verschwindet.

[0091] Bei der mit Hilfe dieser Send-/Empfangseinrichtung ausgeführten Variante der zweiten Ausgestaltung des Verfahrens ist der Schritt 8 des Bildens einer Linearkombination somit durch die Space-Time-Block-Kodierung ersetzt. Ansonsten entsprechen sich die Verfahrensschritte; insbesondere besteht bei beiden Varianten die Möglichkeit, diejenigen unter den gespeicherten Eigenvektoren, die in die Linearkombination eingehen, bzw. zur Gewichtung der Space-Time-Block-kodierten Signale eingesetzt werden, von einem Zyklus der Arbeitsphase zum nächsten auszutauschen.

[0092] Space-Time Block Codes können auch bei einer Basisstation eingesetzt werden, die ein Downlinksignal auf drei oder mehr jeweils einem Eigenvektor entsprechenden Übertragungswegen abstrahlt. Eine erste Möglichkeit dafür ist die Verwendung von an sich bekannten Space-Time Block Codes, die die Erzeugung von drei oder mehr nicht destruktiv interferierenden Symbolfolgen aus einer Symbolfolge ermöglichen. Eine zweite, bevorzugte Möglichkeit ergibt sich daraus, daß es nur selten vorkommt, daß drei oder mehr Übertragungswege exakt gleiche Laufzeiten aufweisen. Nur wenn die Laufzeiten dieser Übertragungswege gleich sind, sind die (nicht zeitverschobenen) Trainingssequenzen der auf diesen Wegen übertragenen Signale ortho-

gonal. Space-Time-Block-Codierung wird daher im allgemeinen nur zeitweilig und nur für jeweils zwei der Übertragungswegen benötigt. Die Teilnehmerstation kann daher durch Überwachung der Orthogonalität der auf diesen Übertragungswegen empfangenen Downlinksignale Zeitgleichheit erkennen und – ggf. im Rahmen der Kurzzeit-Rückkopplungsinformation – der Basisstation jeweils Paare von Eigenvektoren bezeichnen, auf die Space-Time-Block-Codierung angewendet werden soll.

[0093] Die Anwendung von Space-Time Block Codes ist gerade in Kombination mit der hier vorgeschlagenen Verwendung von Eigenvektoren der Kovarianzmatrix als Gewichtungsvektoren besonders attraktiv. Da durch die Eigenvektorzerlegung das schnelle Fading/der schnelle Schwund der jeweils einem Eigenvektor entsprechenden Downlink-Strahlen unkorreliert ist, erlaubt es erst diese Zerlegung, den durch die Space-Time Block Codes theoretisch möglichen Diversitätsgewinn auch in der Praxis voll auszuschöpfen.

[0094] Abwandlungen der hier beschriebenen Ausgestaltungen liegen anhand der hier gegebenen Offenbarung im Rahmen des fachmännischen Könnens. Insbesondere ist eine Variante denkbar, bei der eine Ermittlung der Eigenvektoren am Uplink-Signal vorgenommen wird, so wie mit Bezug auf die zweite Ausgestaltung beschrieben, und bei der die ermittelten Eigenwerte von der Basisstation an die Teilnehmerstation ermittelt werden, so daß die Teilnehmerstation die Verfahrensschritte 5 bis 7, sowie mit Bezug auf Fig. 4 für die erste Ausgestaltung des Verfahrens beschrieben, ausführen kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem mit Teilnehmerstationen (MSk, MS1 bis MSn) und einer Basisstation (BS), die eine Antenneneinrichtung (AE) mit mehreren Antennenelementen ( $A_1$  bis  $A_M$ ) aufweist, die ein Downlinksignal jeweils gewichtet mit Koeffizienten  $w_i$ ,  $i = 1, \dots, M$  eines aktuellen Gewichtungsvektors  $w$  abstrahlen, **dadurch gekennzeichnet**, daß
  - a) in einer Initialisierungsphase eine Mehrzahl von ersten Gewichtungsvektoren  $w^{(j)}$  ermittelt werden, und
  - b) in einer Arbeitsphase der für die Ausstrahlung eines Zeitschlitzes des für die Teilnehmerstation (MSk) bestimmten Downlinksignals verwendete aktuelle Gewichtungsvektor  $w$  anhand der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren zyklisch neu festgelegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Downlink-Übertragung ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß
  - a) in der Initialisierungsphase die ersten Gewichtungsvektoren  $w^{(j)}$  an der Teilnehmerstation ermittelt werden, und die ermittelten ersten Gewichtungsvektoren an die Basisstation übertragen werden; und daß
  - b) in der Betriebsphase die Teilnehmerstation unter den ermittelten ersten Gewichtungsvektoren einen dominierenden auswählt und eine Bezeichnung des dominierenden Gewichtungsvektors an die Basisstation überträgt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Übertragung eines ersten Gewichtungsvektors an die Basisstation an der Teilnehmerstation

die Differenz zwischen dem in der aktuellen Initialisierungsphase ermittelten Wert und dem in einer vorherigen Initialisierungsphase ermittelten Wert gebildet wird, diese Differenz an die Basisstation übertragen wird und dort zu einem in der vorherigen Phase ermittelten Wert addiert wird, um den aktuellen Wert des ersten Gewichtungsvektors wiederzugewinnen.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Übertragung eines ersten Gewichtungsvektors an die Basisstation an der Teilnehmerstation das Vorzeichen der Differenz zwischen dem in der aktuellen Initialisierungsphase ermittelten Wert und dem in einer vorherigen Initialisierungsphase ermittelten Wert gebildet wird, die Vorzeichen an die Basisstation übertragen werden und jede Komponente des dort gespeicherten ersten Gewichtungsvektors entsprechend dem übertragenen Vorzeichen um eine Einheit inkrementiert bzw. dekrementiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in der Initialisierungsphase eine erste räumliche Kovarianzmatrix des empfangenen Downlinksignals erzeugt wird, daß Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix ermittelt werden und daß die Eigenvektoren als erste Gewichtungsvektoren übertragen werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix für jeden Tap des Downlinksignals einzeln erzeugt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten ersten Eigenvektoren diejenigen aus der Gesamtheit der Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix oder -matrizen sind, die die größten Eigenwerte aufweisen.

9. Verfahren nach Anspruch 6, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix über eine Vielzahl von Zeitschlitzes des Downlinksignals gemittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß in der Betriebsphase zyklisch eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt wird, und daß als dominierender Gewichtungsvektor derjenige unter den ermittelten Eigenvektoren ausgewählt wird, der mit der zweiten Kovarianzmatrix den größten Eigenwert aufweist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Antennenelement periodisch eine Trainingssequenz ausstrahlt, die zu den Trainingssequenzen der anderen Antennenelemente orthogonal ist, und daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand der von der Teilnehmerstation empfangenen Trainingssequenzen ermittelt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren zwei beträgt, und daß die Bezeichnung des dominanten Gewichtungsvektors in jedem der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz übertragen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezeichnung zur Strahlformung in dem unmittelbar auf ihre Übertragung folgenden Zeitschlitz eingesetzt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren  $2^n$ ,  $n = 2, 3, \dots$  beträgt, und daß die  $n$  Bit umfassende Bezeichnung des dominanten Gewichtungsvektors in Portionen von  $a$  Bits,  $a = 1, \dots, n$  in jedem der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz übertragen wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezeichnung zur Strahlformung in den n/a unmittelbar auf ihre Übertragung folgenden Zeitschlitz eingesetzt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß in bestimmten Zeitschlitz anstelle der Bezeichnung des dominierenden Gewichtungsvektors Information über die Komponenten eines Gewichtungsvektors übertragen wird. 5
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Zahl von Zeitschlitz, in denen eine Bezeichnung eines Gewichtungsvektors übertragen wird, oder der Zeitschlitz, in denen Information über die Komponenten eines Gewichtungsvektors übertragen wird, in Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit der Teilnehmerstation variabel ist. 10
18. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung ermittelt werden. 20
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß in der Initialisierungsphase eine erste räumliche Kovarianzmatrix des empfangenen Uplinksignals erzeugt wird, daß Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix ermittelt werden und daß die Eigenvektoren als erste Gewichtungsvektoren verwendet werden. 25
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix für jeden Tap des Uplinksignals einzeln erzeugt wird. 30
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten Eigenvektoren diejenigen aus der Gesamtheit der Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix oder -matrizen sind, die die größten Eigenwerte aufweisen. 35
22. Verfahren nach Anspruch 19, 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix über eine Vielzahl von Zeitschlitz des Uplinksignals gemittelt wird. 40
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß in der Betriebsphase zyklisch eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt wird, und daß als dominierender Gewichtungsvektor derjenige unter den ermittelten Eigenvektoren ausgewählt wird, der mit der zweiten Kovarianzmatrix den größten Eigenwert aufweist. 45
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß jede Teilnehmerstation periodisch eine Trainingssequenz ausstrahlt, und daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand der von der Basisstation empfangenen Trainingssequenzen ermittelt werden. 50
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 16 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der aktuelle Gewichtungsvektor eine Linearkombination der ersten Gewichtungsvektoren ist. 55
26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilnehmerstation in der Betriebsphase Information über die Koeffizienten der Linearkombination an die Basisstation überträgt. 60
27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Information eine Phase und/oder einen Betrag eines Koeffizienten der Linearkombination angibt. 65
28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der ersten Gewichtungsvektoren 2 ist.

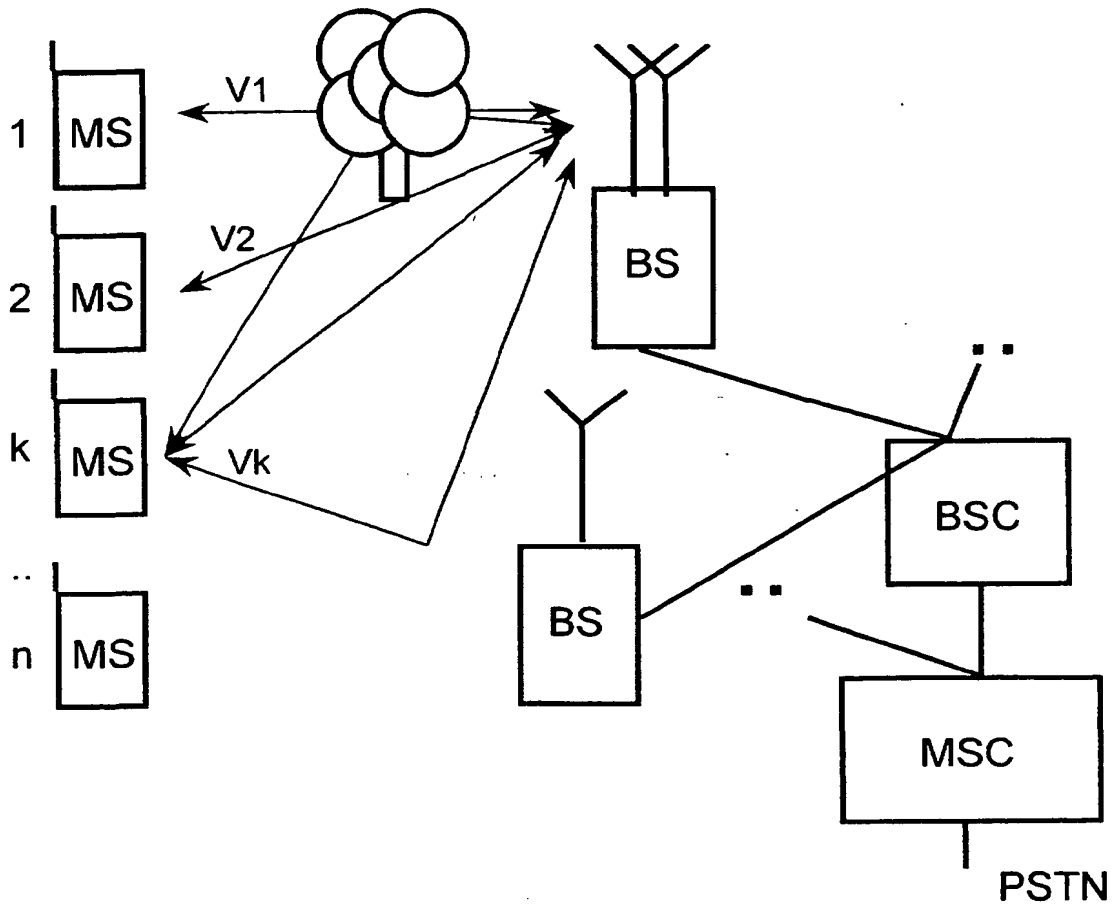
29. Verfahren nach Anspruch 19 und Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten der Linearkombination für einen ersten Gewichtungsvektor um so größer gewählt werden, je größer dessen Eigenwert ist.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß aus einer für die Teilnehmerstation (MSK) bestimmten Symbolfolge mehrere Downlink-Signale erzeugt werden, die jeweils eine unterschiedliche Space-Time-Block-Codierung aufweisen, und daß jedes der Downlinksignale mit einem anderen aktuellen Gewichtungsvektor gewichtet ausgestrahlt wird.
31. Verfahren nach Anspruch 25 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß der aktuelle Gewichtungsvektor aus den ersten Gewichtungsvektoren ausgewählt wird, wenn ein LOS-Übertragungsweg zwischen Basisstation und Teilnehmerstation existiert.
32. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor Abschluß der Ermittlung der Mehrzahl von ersten Gewichtungsvektoren  $w^{(i)}$  die Festlegung des für die Ausstrahlung eines Zeitschlitzes des für die Teilnehmerstation (MSK) bestimmten Downlinksignals verwendeten aktuellen Gewichtungsvektors  $w$  anhand von vorab festgelegten Gewichtungsvektoren erfolgt.
33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die vorab festgelegten Gewichtungsvektoren jeweils genau eine nichtverschwindende Komponente haben.

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig.1



(Stand der Technik)

Fig.2

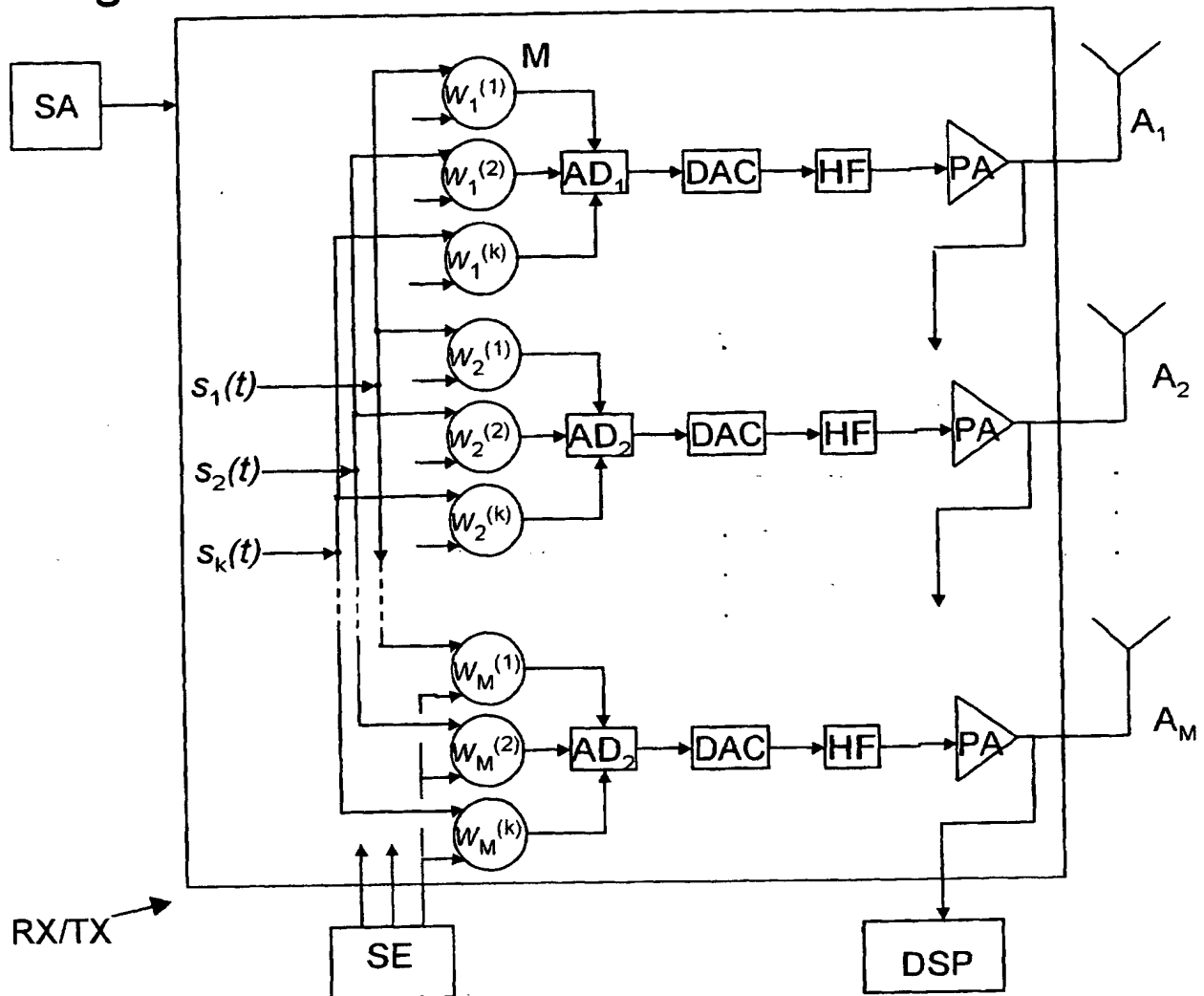


Fig.3

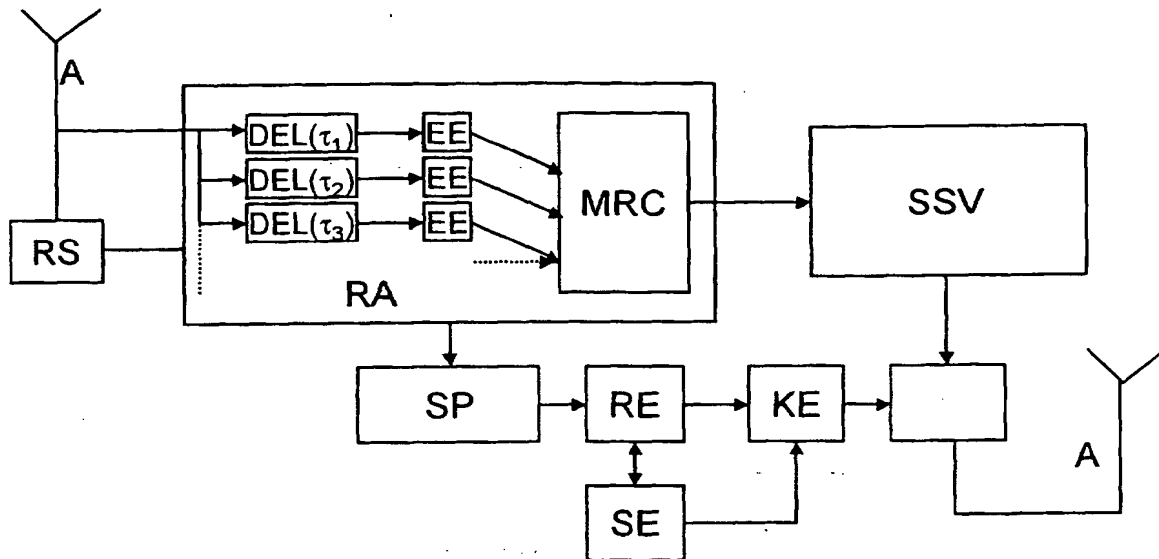


Fig.6A

Zeitschlitz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kurzzeit	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Langzeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fig.6B

Zeitschlitz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kurzzeit	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
Langzeit	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

Fig.6C

Zeitschlitz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kurzzeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Langzeit	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



**Fig.4**

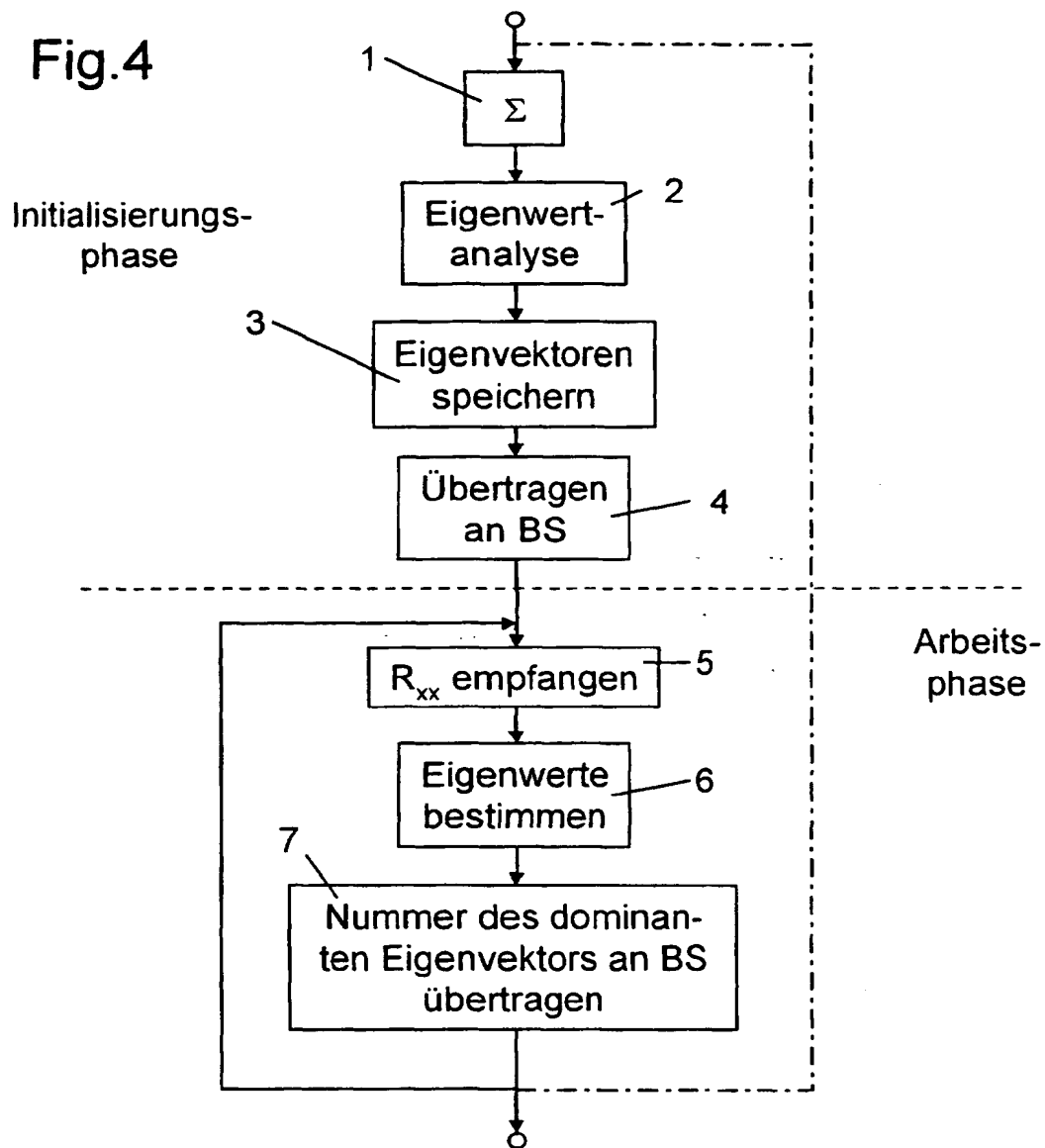


Fig.5

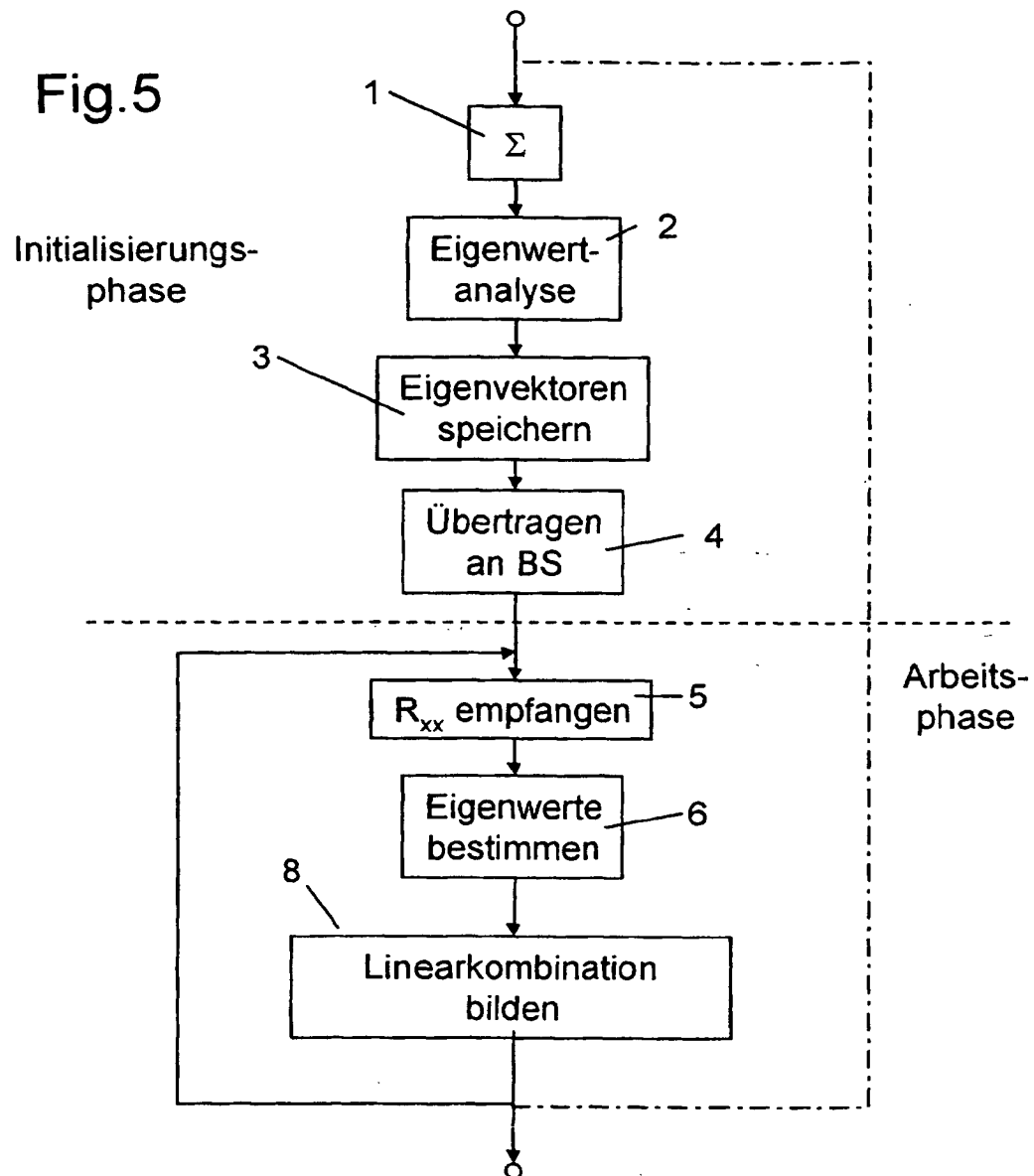


Fig. 7

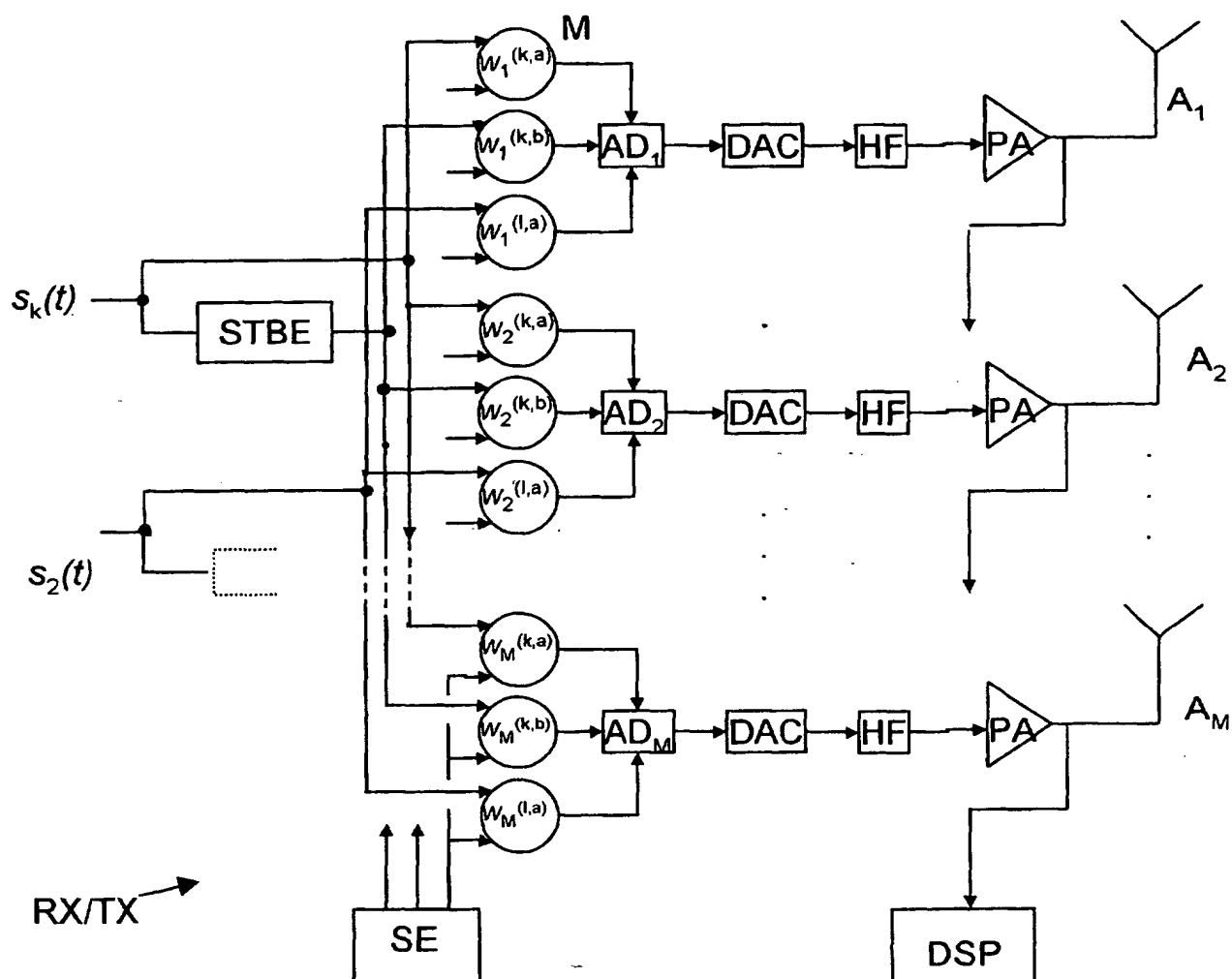


Fig. 8A

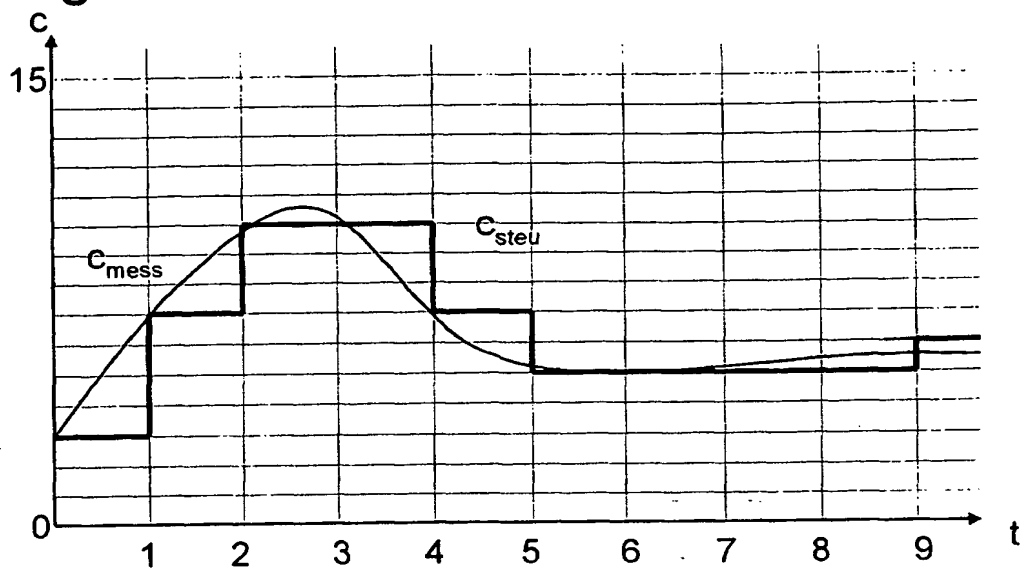
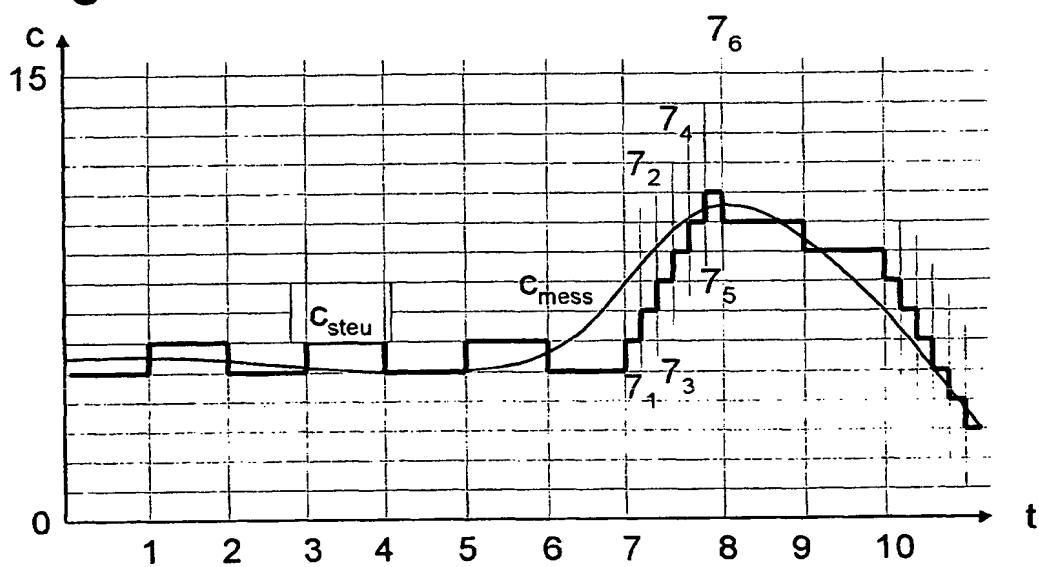


Fig. 8B



gnalprozessor SP, Recheneinheit RE, Speicherelement SE etc. ausgestattet.

[0085] In Schritt 1 des Verfahrens bildet die Recheneinheit RE eine gemittelte Kovarianzmatrix für jeden einzelnen Tap des Uplink-Signals und ermittelt die Eigenvektoren und Eigenwerte der so erhaltenen Kovarianzmatrix. Diese Eigenwerte entsprechen jeweils einem Übertragungsweg und enthalten die Information über die relativen Phasenlagen des entsprechenden Beitrags des Uplink-Signals an den einzelnen Antennenelementen und damit über die Richtung, aus der der Beitrag empfangen wird. Wenn die Frequenzen von Uplink und Downlink bei dem betrachteten Funk-Kommunikationssystem gleich sind, können die in dem Eigenvektor enthaltenen Phaseninformationen direkt für die Gewichtung des Downlink-Signals genutzt werden. Falls die Frequenzen von Uplink und Downlink unterschiedlich sind, so ist es erforderlich, die in dem Eigenvektor enthaltene Phaseninformation unter Zugrundelegung der Uplink-Frequenz in eine entsprechende Richtung und diese Richtung anhand der Downlink-Frequenz wieder in Phaseninformation umzurechnen, um für die Strahlformung im Downlink geeignete Eigenvektoren zu erhalten.

[0086] Die Analyse des Schritts 2 umfaßt auch die Bestimmung der Eigenwerte der Eigenvektoren. Der Betrag des Eigenwerts ist ein Maß für die Qualität jedes einzelnen Übertragungsweges; für die spätere Verwendung wird daher eine gegebene Zahl von z. B. 2 oder 4 Eigenvektoren ausgewählt und in Schritt 3 gespeichert, die unter den gefundenen Eigenvektoren die Eigenwerte mit dem höchsten Betrag aufweisen.

[0087] In der sich anschließenden Arbeitsphase empfängt die Recheneinheit zyklisch Kovarianzmatrizen von dem Signalprozessor, wobei jede Kovarianzmatrix jeweils auf ein einzelnes Tap des Uplink-Signals bezogen ist. Die in der Speichereinheit SE gespeicherten Eigenvektoren entsprechen ihrerseits jeweils einem bestimmten Tap. Die Recheneinheit bestimmt in Schritt 6 für jeden gespeicherten Eigenvektor dessen aktuellen Eigenwert bei Multiplikation mit der in Schritt 5 gelieferten, dem gleichen Tap wie der Eigenvektor entsprechenden Kovarianzmatrix. Der erhaltene Eigenwert liefert ein Maß für die Übertragungsqualität auf dem dem Eigenvektor entsprechenden Übertragungsweg mit einer zeitlichen Auflösung, die der Rate der Erzeugung der Kovarianzmatrizen in der Arbeitsphase entspricht. In dieser Phase werden die Kovarianzmatrizen von dem Signalprozessor jeweils für jeden der Teilnehmerstation zugeleiteten Zeitschlitz aktuell erzeugt; der Eigenwert ist daher ein Maß für die Übertragungsqualität des Übertragungsweges unter Berücksichtigung des schnellen Fadings.

[0088] Bei einer ersten, einfachen Variante des Verfahrens schließt sich ein Schritt 8 an, in dem ein aktueller Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  berechnet wird, indem eine Linearkombination der gespeicherten Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  gebildet wird, wobei jeder der Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots$  in die Linearkombination multipliziert mit seinem in Schritt 6 erhaltenen Eigenwert oder dessen Betrag eingeht. Eine Normierung der Linearkombination ist möglich. Durch diese Gewichtung bei der Bildung der Linearkombination ist gewährleistet, daß diejenigen Übertragungswege, die kurzfristig die besten Übertragungseigenschaften aufweisen, das von der Basisstation abgestrahlte Downlink-Signal dominieren. Die anderen in den aktuellen Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  eingehenden Eigenvektoren dienen der Absicherung, daß auch in dem Falle, daß der am höchsten gewichtete Übertragungsweg von einem Zeitschlitz auf den nächsten ausfällt, ein brauchbares Signal bei der Teilnehmerstation ankommt.

[0089] Falls einer der Übertragungswege zwischen Basis-

station und Teilnehmerstation eine Direktverbindung ist, so ist dies für die Basisstation darin erkennbar, daß der entsprechende Beitrag an dem empfangenen Uplink-Signal relativ geringe Phasenfluktuation und zumeist auch geringe Dämpfung aufweist. Wenn ein solcher direkter Übertragungsweg existiert, kann der zugeordnete Eigenvektor unmittelbar als aktueller Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  verwendet werden, mit anderen Worten alle anderen Eigenvektoren gehen mit Koeffizienten 0 in die Bildung der Linearkombination ein.

[0090] Eine weiterentwickelte Variante der mit Bezug auf Fig. 4 bzw. 5 beschriebenen Ausgestaltung des Verfahrens setzt eine Basisstation mit einer mehreren Antennenelemente umfassende Antenneneinrichtung voraus, die in der Lage ist, unter Verwendung von Space-Time-Block-Codes auszustrahlen. Solche Codes sind z. B. aus Tarokh et al., Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs, IEEE Trans. on Information Theory, Bd. 45 Nr. 5, Juli 1999, bekannt. Ein Ausschnitt der Send-/Empfangseinrichtung Tx/Rx einer solchen Basisstation ist in Fig. 7 gezeigt. In dieser Send-/Empfangseinrichtung wird eine für die Teilnehmerstation MSk bestimmte komplexwertige Symbolfolge in zwei Stränge aufgeteilt, von denen einer einen Space-Time-Block-Encoder STBE enthält, der hier zwei aufeinanderfolgende Symbole der Symbolfolge  $s_k(t)$  in ihrer Reihenfolge vertauscht, konjugiert und das Vorzeichen eines Symbols umkehrt. Die auf diese Weise erhaltenen zwei unterschiedlichen Symbolfolgen mit gleichem Informationsgehalt werden in einem Strahlformungsnetzwerk, dessen Aufbau analog zu dem mit Bezug auf Fig. 2 beschriebenen ist und deshalb hier nicht wieder eingehend behandelt wird, mit zwei unterschiedlichen Eigenvektoren  $w^{(k,a)}, w^{(k,b)}$  aus dem Satz der Eigenvektoren  $w^{(k,1)}, w^{(k,2)}, \dots, w^{(k,a)}, \dots, w^{(k,a)}, w^{(k,b)}, \dots, w^{(k,a)}$  gewichtet, additiv überlagert und ausgestrahlt. Die einzelnen Antennenelemente  $\Lambda_1, \dots, \Lambda_M$  sind somit in der Lage, ein Gemisch von Signalen auszustrahlen, die eine unterschiedliche Space-Time-Block-Kodierung aufweisen. Die Kodierung ist somit nicht für ein einzelnes Antennenelement spezifisch sondern für einen Ausbreitungsweg a bzw. b, der dem zur Gewichtung verwendeten Eigenvektor  $w^{(k,a)}$  bzw.  $w^{(k,b)}$  entspricht. Dadurch ist gewährleistet, daß Signale, die die Teilnehmerstation MSk auf diesen zwei verschiedenen Übertragungswegen a, b erreichen, niemals destruktiv interferieren können, auch wenn ihre relative Verzögerung verschwindet.

[0091] Bei der mit Hilfe dieser Send-/Empfangseinrichtung ausgeführten Variante der zweiten Ausgestaltung des Verfahrens ist der Schritt 8 des Bildens einer Linearkombination somit durch die Space-Time-Block-Kodierung ersetzt. Ansonsten entsprechen sich die Verfahrensschritte; insbesondere besteht bei beiden Varianten die Möglichkeit, diejenigen unter den gespeicherten Eigenvektoren, die in die Linearkombination eingehen, bzw. zur Gewichtung der Space-Time-Block-kodierten Signale eingesetzt werden, von einem Zyklus der Arbeitsphase zum nächsten auszutauschen.

[0092] Space-Time Block Codes können auch bei einer Basisstation eingesetzt werden, die ein Downlinksignal auf drei oder mehr jeweils einem Eigenvektor entsprechenden Übertragungswegen abstrahlt. Eine erste Möglichkeit dafür ist die Verwendung von an sich bekannten Space-Time Block Codes, die die Erzeugung von drei oder mehr nicht destruktiv interferierenden Symbolfolgen aus einer Symbolfolge ermöglichen. Eine zweite, bevorzugte Möglichkeit ergibt sich daraus, daß es nur selten vorkommt, daß drei oder mehr Übertragungswege exakt gleiche Laufzeiten aufweisen. Nur wenn die Laufzeiten dieser Übertragungswege gleich sind, sind die (nicht zeitverschobenen) Trainingssequenzen der auf diesen Wegen übertragenen Signale ortho-

gonal. Space-Time-Block-Codierung wird daher im allgemeinen nur zeitweilig und nur für jeweils zwei der Übertragungswege benötigt. Die Teilnehmerstation kann daher durch Überwachung der Orthogonalität der auf diesen Übertragungswegen empfangenen Downlinksignale Zeitgleichheit erkennen und – ggf. im Rahmen der Kurzzeit-Rückkopplungsinformation – der Basisstation jeweils Paare von Eigenvektoren bezeichnen, auf die Space-Time-Block-Codierung angewendet werden soll.

[0093] Die Anwendung von Space-Time Block Codes ist gerade in Kombination mit der hier vorgeschlagenen Verwendung von Eigenvektoren der Kovarianzmatrix als Gewichtungsvektoren besonders attraktiv. Da durch die Eigenvektorzerlegung das schnelle Fading/der schnelle Schwund der jeweils einem Eigenvektor entsprechenden Downlink-Strahlen unkorreliert ist, erlaubt es erst diese Zerlegung, den durch die Space-Time Block Codes theoretisch möglichen Diversitätsgewinn auch in der Praxis voll auszuschöpfen.

[0094] Abwandlungen der hier beschriebenen Ausgestaltungen liegen anhand der hier gegebenen Offenbarung im Rahmen des fachmännischen Könnens. Insbesondere ist eine Variante denkbar, bei der eine Ermittlung der Eigenvektoren am Uplink-Signal vorgenommen wird, so wie mit Bezug auf die zweite Ausgestaltung beschrieben, und bei der die ermittelten Eigenwerte von der Basisstation an die Teilnehmerstation ermittelt werden, so daß die Teilnehmerstation die Verfahrensschritte 5 bis 7, sowie mit Bezug auf Fig. 4 für die erste Ausgestaltung des Verfahrens beschrieben, ausführen kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem mit Teilnehmerstationen (MSk, MS1 bis MSn) und einer Basisstation (BS), die eine Antenneneinrichtung (AE) mit mehreren Antennenelementen ( $A_1$  bis  $A_M$ ) aufweist, die ein Downlinksignal jeweils gewichtet mit Koeffizienten  $w_i$ ,  $i = 1, \dots, M$  eines aktuellen Gewichtungsvektors  $w$  abstrahlen, **dadurch gekennzeichnet, daß**
  - a) in einer Initialisierungsphase eine Mehrzahl von ersten Gewichtungsvektoren  $w^{(i)}$  ermittelt werden, und
  - b) in einer Arbeitsphase der für die Ausstrahlung eines Zeitschlitzes des für die Teilnehmerstation (MSk) bestimmten Downlinksignals verwendete aktuelle Gewichtungsvektor  $w$  anhand der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren zyklisch neu festgelegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Downlink-Übertragung ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß
  - a) in der Initialisierungsphase die ersten Gewichtungsvektoren  $w^{(i)}$  an der Teilnehmerstation ermittelt werden, und die ermittelten ersten Gewichtungsvektoren an die Basisstation übertragen werden; und daß
  - b) in der Betriebsphase die Teilnehmerstation unter den ermittelten ersten Gewichtungsvektoren einen dominierenden auswählt und eine Bezeichnung des dominierenden Gewichtungsvektors an die Basisstation überträgt.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Übertragung eines ersten Gewichtungsvektors an die Basisstation an der Teilnehmerstation

die Differenz zwischen dem in der aktuellen Initialisierungsphase ermittelten Wert und dem in einer vorherigen Initialisierungsphase ermittelten Wert gebildet wird, diese Differenz an die Basisstation übertragen wird und dort zu einem in der vorherigen Phase ermittelten Wert addiert wird, um den aktuellen Wert des ersten Gewichtungsvektors wiederzugewinnen.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Übertragung eines ersten Gewichtungsvektors an die Basisstation an der Teilnehmerstation das Vorzeichen der Differenz zwischen dem in der aktuellen Initialisierungsphase ermittelten Wert und dem in einer vorherigen Initialisierungsphase ermittelten Wert gebildet wird, die Vorzeichen an die Basisstation übertragen werden und jede Komponente des dort gespeicherten ersten Gewichtungsvektors entsprechend dem übertragenen Vorzeichen um eine Einheit inkrementiert bzw. dekrementiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in der Initialisierungsphase eine erste räumliche Kovarianzmatrix des empfangenen Downlinksignals erzeugt wird, daß Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix ermittelt werden und daß die Eigenvektoren als erste Gewichtungsvektoren übertragen werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix für jeden Tap des Downlinksignals einzeln erzeugt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten ersten Eigenvektoren diejenigen aus der Gesamtheit der Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix oder -matrizen sind, die die größten Eigenwerte aufweisen.

9. Verfahren nach Anspruch 6, 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix über eine Vielzahl von Zeitschlitzes des Downlinksignals gemittelt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß in der Betriebsphase zyklisch eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt wird, und daß als dominierender Gewichtungsvektor derjenige unter den ermittelten Eigenvektoren ausgewählt wird, der mit der zweiten Kovarianzmatrix den größten Eigenwert aufweist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Antennenelement periodisch eine Trainingssequenz ausstrahlt, die zu den Trainingssequenzen der anderen Antennenelemente orthogonal ist, und daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand der von der Teilnehmerstation empfangenen Trainingssequenzen ermittelt werden.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren zwei beträgt, und daß die Bezeichnung des dominanten Gewichtungsvektors in jedem der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz übertragen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezeichnung zur Strahlformung in dem unmittelbar auf ihre Übertragung folgenden Zeitschlitz eingesetzt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren  $2^n$ ,  $n = 2, 3, \dots$  beträgt, und daß die  $n$  Bit umfassende Bezeichnung des dominanten Gewichtungsvektors in Portionen von  $a$  Bits,  $a = 1, \dots, n$  in jedem der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz übertragen wird.



15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezeichnung zur Strahlformung in den  $n/a$  unmittelbar auf ihre Übertragung folgenden Zeitschlitz eingesetzt wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß in bestimmten Zeitschlitz anstelle der Bezeichnung des dominierenden Gewichtungsvektors Information über die Komponenten eines Gewichtungsvektors übertragen wird. 5
17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis der Zahl von Zeitschlitz, in denen eine Bezeichnung eines Gewichtungsvektors übertragen wird, oder der Zeitschlitz, in denen Information über die Komponenten eines Gewichtungsvektors übertragen wird, in Abhängigkeit von der Bewegungsgeschwindigkeit der Teilnehmerstation variabel ist. 10
18. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung ermittelt werden. 20
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß in der Initialisierungsphase eine erste räumliche Kovarianzmatrix des empfangenen Uplinksignals erzeugt wird, daß Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix ermittelt werden und daß die Eigenvektoren als erste Gewichtungsvektoren verwendet werden. 25
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix für jeden Tap des Uplinksignals einzeln erzeugt wird. 30
21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten Eigenvektoren diejenigen aus der Gesamtheit der Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix oder -matrizen sind, die die größten Eigenwerte aufweisen. 35
22. Verfahren nach Anspruch 19, 20 oder 21, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix über eine Vielzahl von Zeitschlitz des Uplinksignals gemittelt wird. 40
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß in der Betriebsphase zyklisch eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt wird, und daß als dominierender Gewichtungsvektor derjenige unter den ermittelten Eigenvektoren ausgewählt wird, der mit der zweiten Kovarianzmatrix den größten Eigenwert aufweist. 45
24. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß jede Teilnehmerstation periodisch eine Trainingssequenz ausstrahlt, und daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand der von der Basisstation empfangenen Trainingssequenzen ermittelt werden. 50
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 16 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der aktuelle Gewichtungsvektor eine Linearkombination der ersten Gewichtungsvektoren ist. 55
26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilnehmerstation in der Betriebsphase Information über die Koeffizienten der Linearkombination an die Basisstation überträgt. 60
27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Information eine Phase und/oder einen Betrag eines Koeffizienten der Linearkombination angibt. 65
28. Verfahren nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der ersten Gewichtungsvektoren 2 ist.

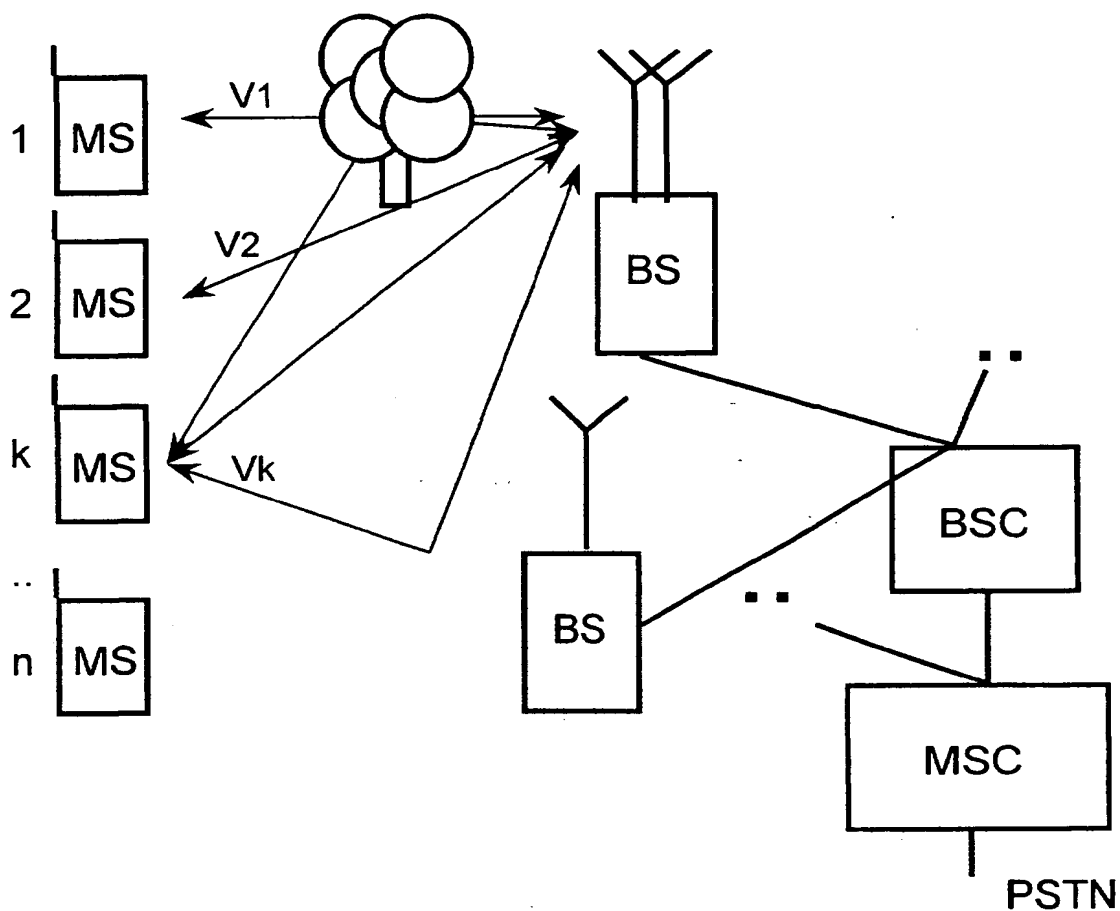
29. Verfahren nach Anspruch 19 und Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten der Linearkombination für einen ersten Gewichtungsvektor um so größer gewählt werden, je größer dessen Eigenwert ist.
30. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 16 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß aus einer für die Teilnehmerstation (MSK) bestimmten Symbolfolge mehrere Downlink-Signale erzeugt werden, die jeweils eine unterschiedliche Space-Time-Block-Codierung aufweisen, und daß jedes der Downlinksignale mit einem anderen aktuellen Gewichtungsvektor gewichtet ausgestrahlt wird.
31. Verfahren nach Anspruch 25 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß der aktuelle Gewichtungsvektor aus den ersten Gewichtungsvektoren ausgewählt wird, wenn ein LOS-Übertragungsweg zwischen Basisstation und Teilnehmerstation existiert.
32. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor Abschluß der Ermittlung der Mehrzahl von ersten Gewichtungsvektoren  $w^{(i)}$  die Festlegung des für die Ausstrahlung eines Zeitschlitzes des für die Teilnehmerstation (MSK) bestimmten Downlinksignals verwendeten aktuellen Gewichtungsvektors  $w$  anhand von vorab festgelegten Gewichtungsvektoren erfolgt.
33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die vorab festgelegten Gewichtungsvektoren jeweils genau eine nichtverschwindende Komponente haben.

---

Hierzu 7 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig.1



(Stand der Technik)

Fig.2

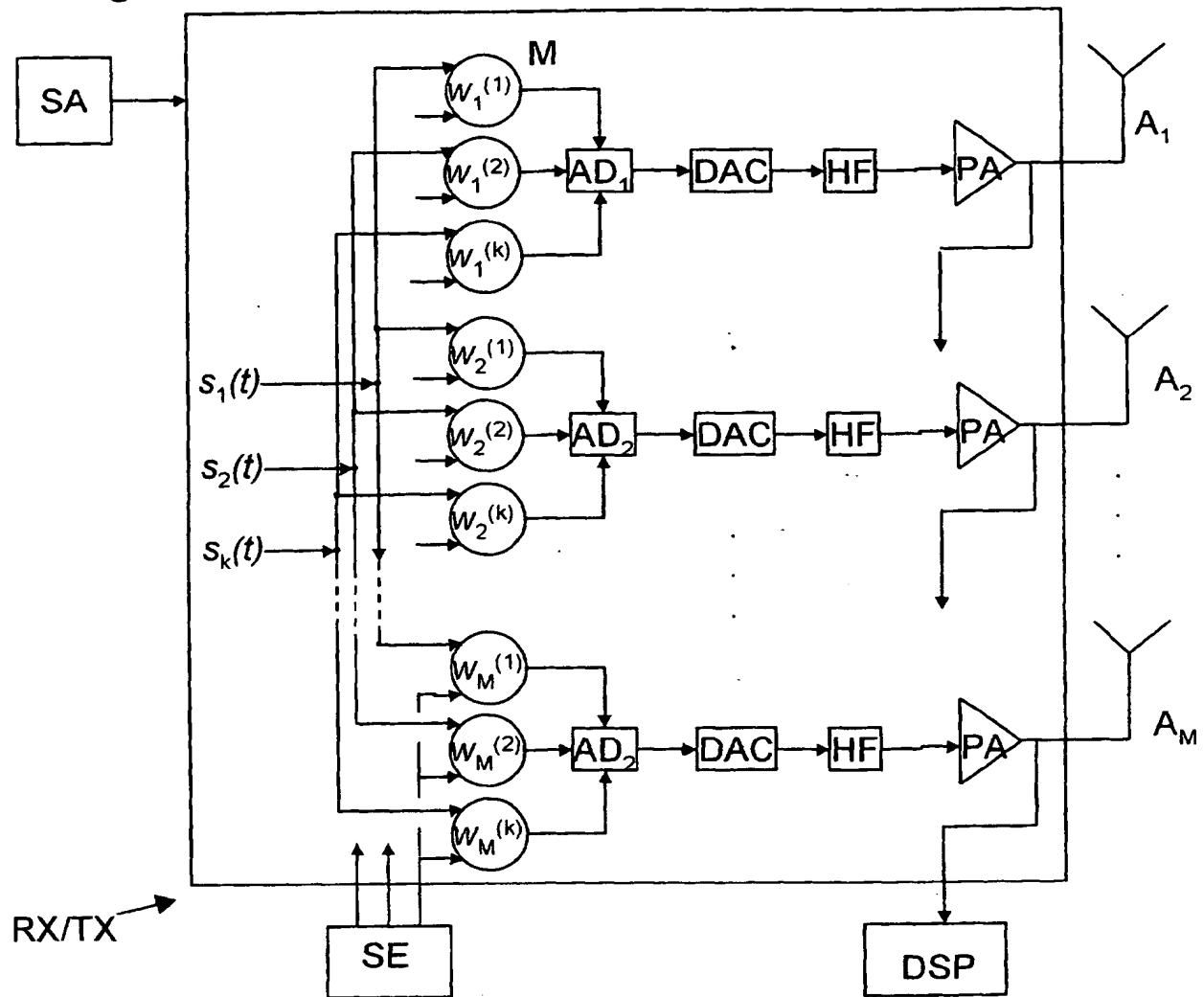


Fig.3

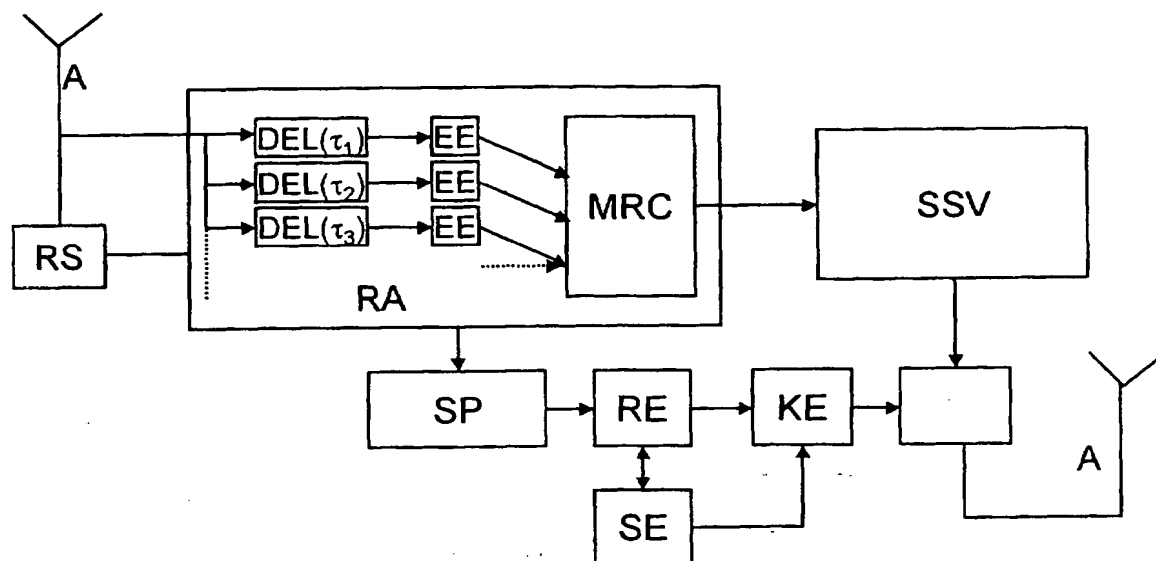


Fig.6A

Zeitschlitz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kurzzeit	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Langzeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fig.6B

Zeitschlitz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kurzzeit	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
Langzeit	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1

Fig.6C

Zeitschlitz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Kurzzeit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Langzeit	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fig.4

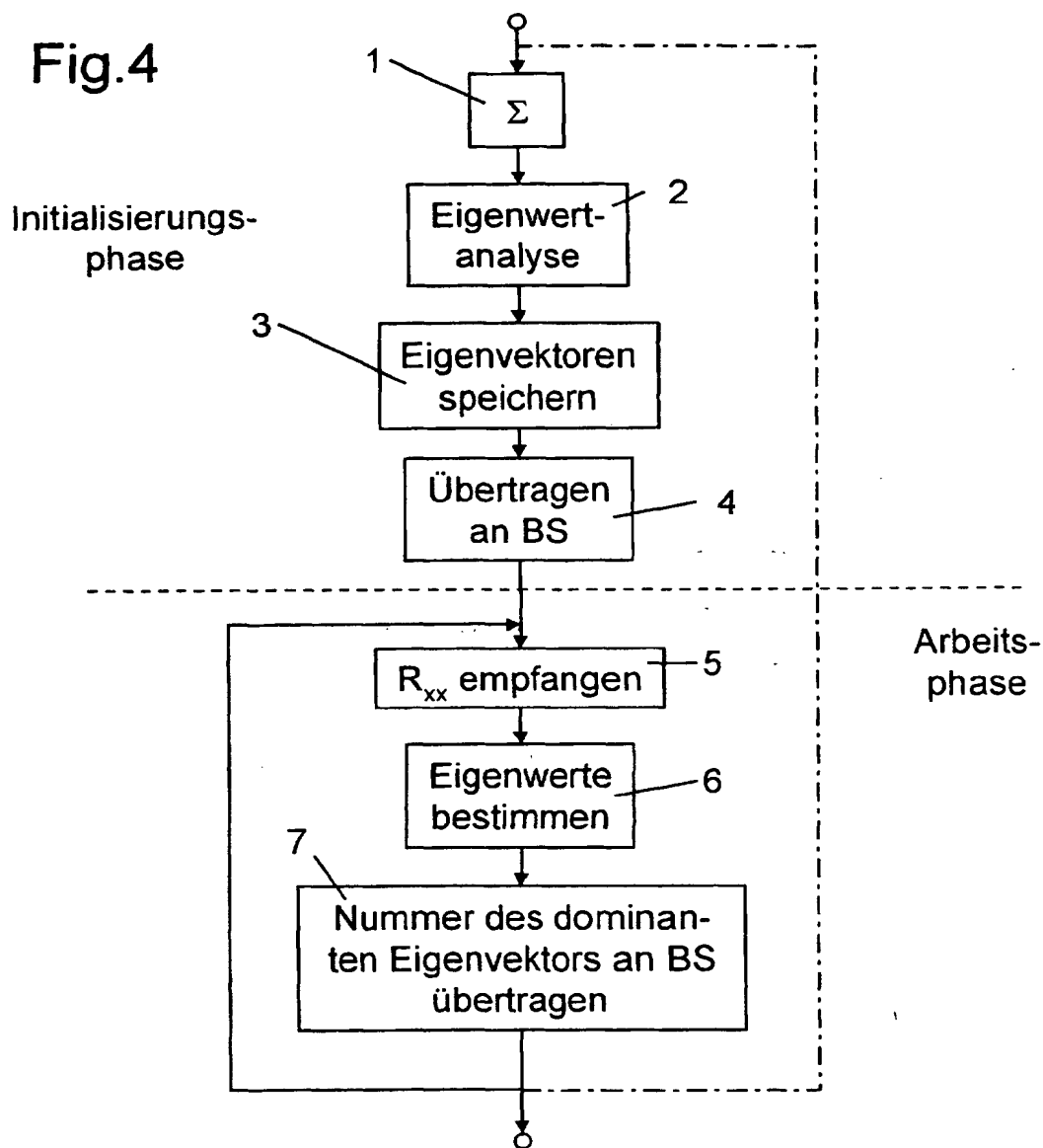


Fig.5

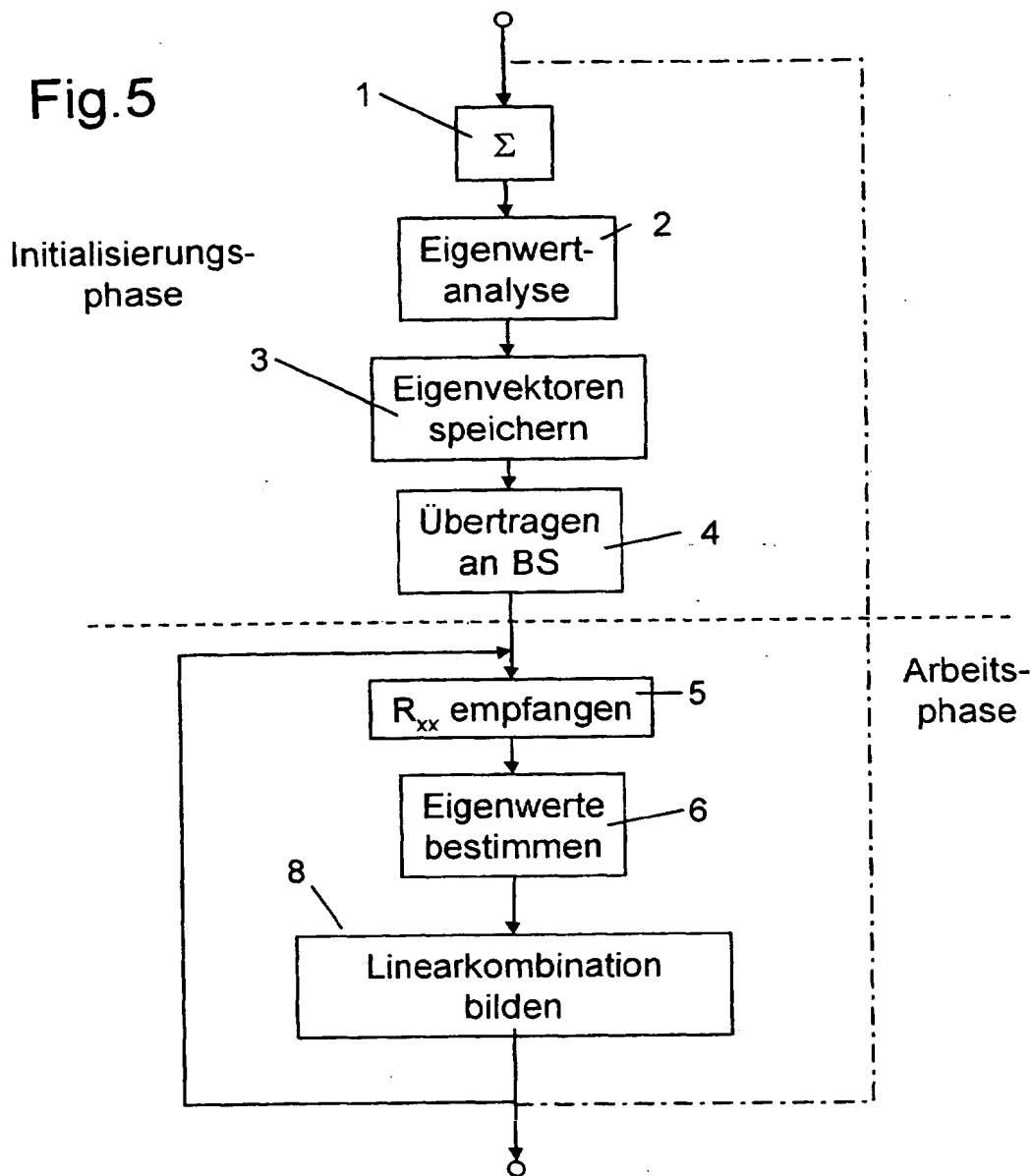




Fig. 7

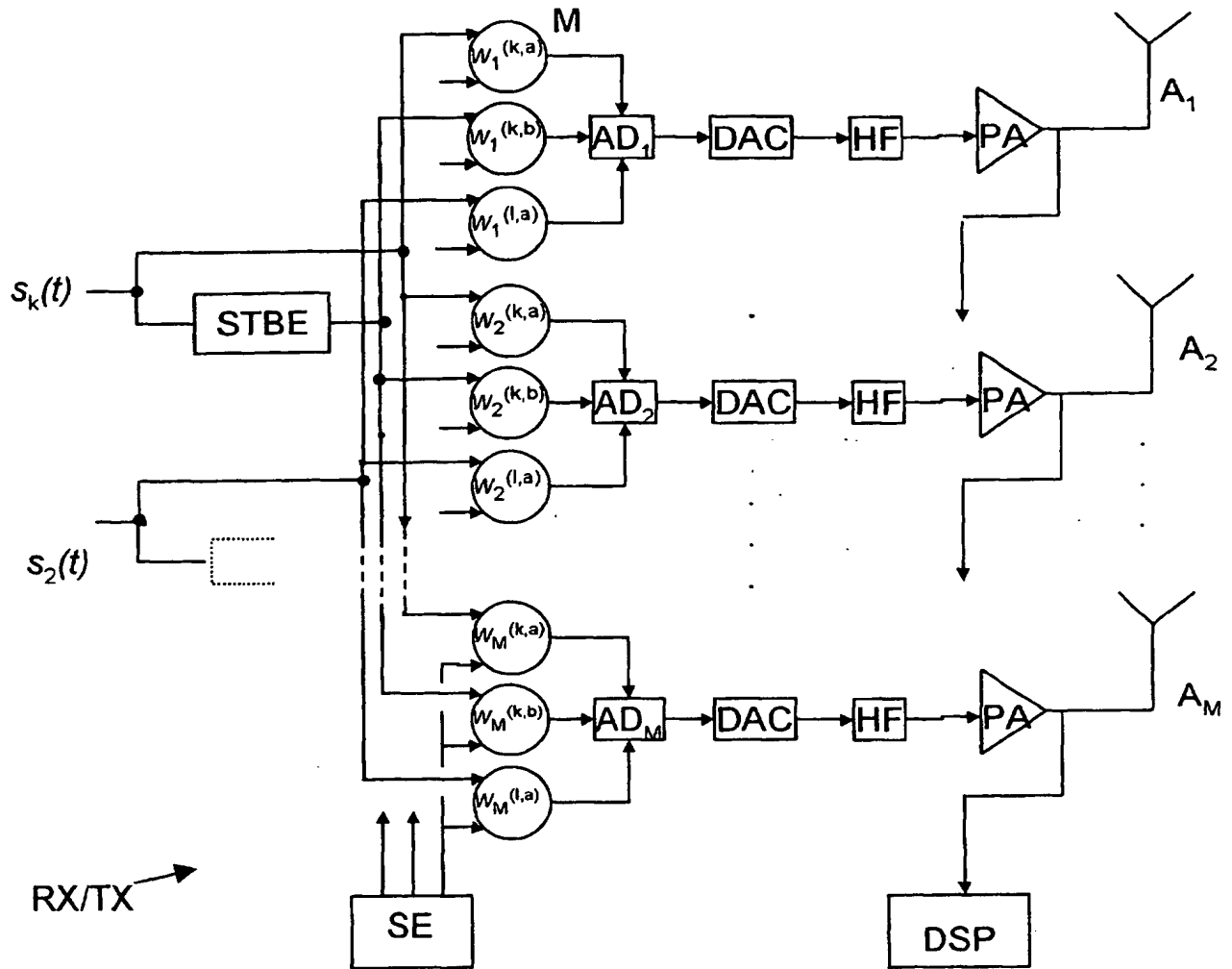


Fig. 8A

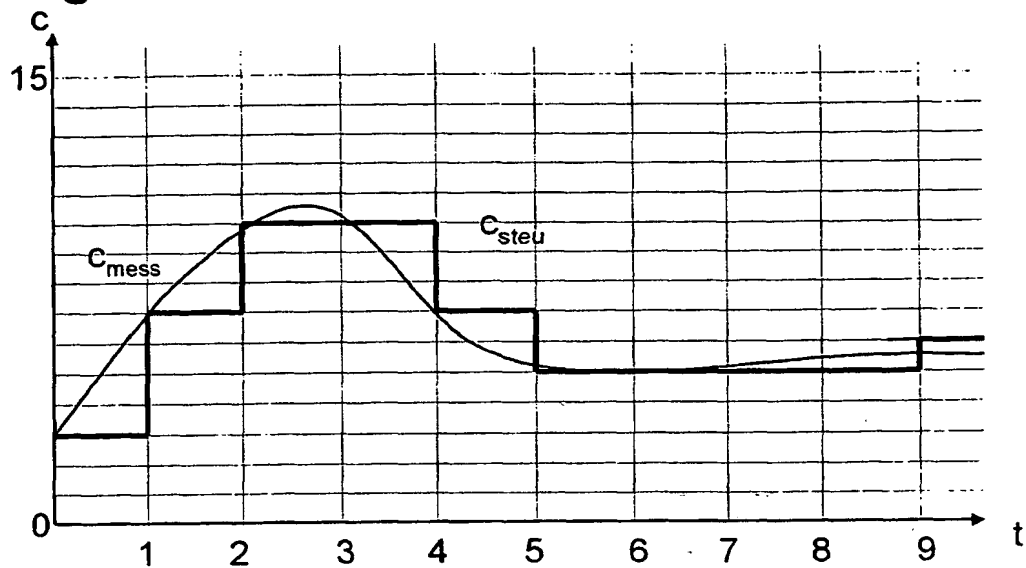
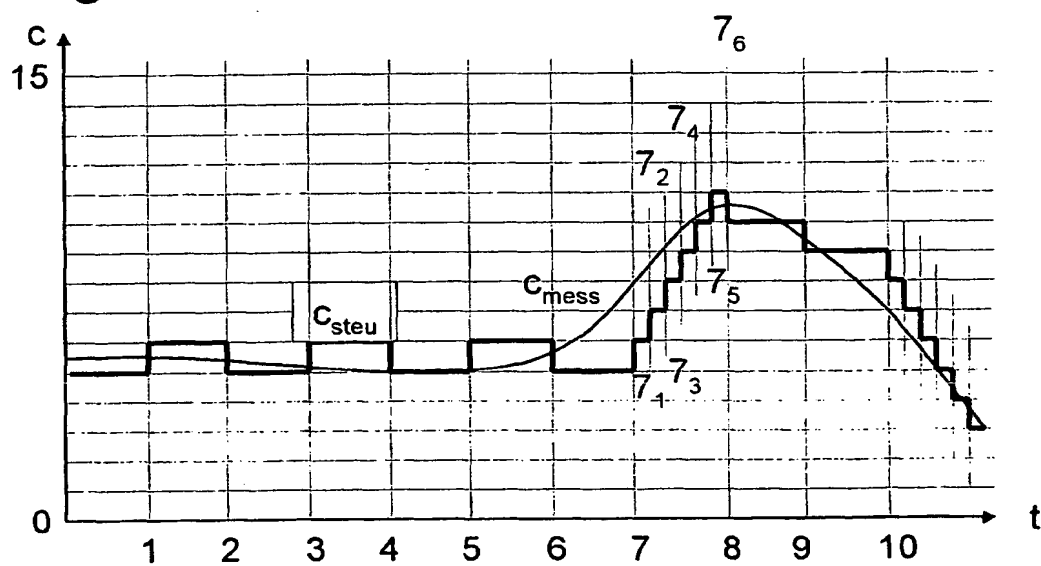


Fig. 8B



English Abstract for DE10032426A1

To the jet figuration in a radio communication system with subsets and a basestation, which exhibits an antenna mechanism with several elementary antennas, which radiate a Downlink signal weighted in each case with coefficients of a weighting vector, in an initialization phase a majority is determined by weighting vectors and of the subset (2) and the determined weighting vectors are transferred to the basestation (4). In a following operating phase the subset under the determined weight vectors selects a dominating from (6) and transfers a designation of the selected weight vector to the basestations.

UNAVAILABLE COPY

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**